

# UNIVERSIDAD DE GRANADA



Theoretical and Cosmos Physics Department



INSTITUTO ANDALUZ  
DE GEOFÍSICA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA TEÓRICA Y DEL COSMOS

INSTITUTO ANDALUZ DE GEOFÍSICA Y  
PREVENCIÓN DE DESASTRES SÍSMICOS

DEPARTAMENTO DE TEORÍA DE LA SEÑAL,  
TELEMÁTICA Y COMUNICACIONES

**“Estimador de entropía de Shannon para la caracterización de señales sísmicas volcánicas con software Python”.**

(*Shannon Entropy estimator for Characterization of Volcanic Seismic Signals with Python Software.*)

MANUAL DE USUARIO: VERSIÓN 1.1

Autor:

Ligdamis A. Gutiérrez E. PhD.

*Volcán Masaya, Nicaragua*  
*Foto por: Ligdamis A. Gutiérrez E.*

*Granada, España - 2024*

## Índice General

<u>1.- Introducción</u> .....	5
<u>2.- Pantalla Inicial del Sistema</u> .....	6
<u>2.1.- Elementos de la pantalla inicial</u> .....	8
 <u>MODULO I (Lectura y Gráfica de los Registros)</u> .....	9
<u>3.-Módulo de lectura y gráfica de los registros</u> .....	10
<u>3.1.- Elementos del Módulo de lectura y gráfica de los registros</u> .....	10
<u>3.1.1.- Área de Título</u> .....	11
<u>3.1.2.- Área de filtros</u> .....	11
a) <u>Selección del tipo de filtro</u> .....	11
b) <u>Selección de los parámetros del filtro</u> .....	12
c) <u>Selección del orden de Filtro</u> .....	12
<u>3.1.3.- Botones de comandos Graficar y Limpiar entradas</u> .....	12
a) <u>Botón de Comando “Plot record”</u> .....	13
b) <u>Botón de comando “Clean Input”</u> .....	13
<u>3.1.4.- Selección de una o tres componentes</u> .....	13
<u>3.1.5.- Bloque de información de los metadatos y trazas del registro</u> .....	14
<u>3.1.6.- Área de información de las estadísticas de los registros</u> .....	14
<u>3.1.7.- Bloque de comandos de carga, camino donde se almacenan los registros y las Trazas correspondientes (una o tres componentes)</u> .....	14
a) <u>Bloque de comandos de carga</u> .....	15
b) <u>Área del Camino donde se almacenan los registros</u> .....	16
c) <u>Área de las Trazas correspondientes (una o tres componentes)</u> .....	17
<u>3.1.8.- Botones de comando Regresar y Salir (Go Back y Exit)</u> .....	17
a) <u>Botón “Go Back”</u> .....	17
b) <u>Botón “Exit”</u> .....	17
<u>3.2.- Validación de errores en registro o entradas</u> .....	18
a) <u>Validaciones para entrada de datos – frecuencia Vacía</u> .....	18
b) <u>Validaciones para entrada de datos – frecuencias mínima y máxima vacías</u> .....	18
c) <u>Validaciones para entrada de datos – orden de filtro vacío</u> .....	18
d) <u>Validaciones para entrada de datos – directorios y archivos vacío</u> .....	18
e) <u>Validaciones para entrada de datos – número de traza vacía</u> .....	19
f) <u>Validación en caso de ocurrir otro error de entrada o archivo inválida</u> .....	19
<u>3.3.- Proceso de ejecución y resultados del módulo de lectura y gráficos</u> .....	19
<u>3.3.1.- Ejemplo de procedimiento de lectura para una componente</u> .....	20
a) <u>Interfaz y salida gráfica para una componente</u> .....	20
<u>3.3.2.- Ejemplo de procedimiento de lectura para tres componentes (una y varias trazas)</u> .....	21
a) <u>Interfaz y salida gráfica para tres componentes con una equivalente traza</u> .....	21
b) <u>Interfaz y salida gráfica para tres componentes con varias y diferentes trazas</u> .....	22
 <u>MODULO II (Método de aplicación de Entropía para señales Sísmico-Volcánicas)</u> .....	25
<u>4.-Módulo de lectura, cálculo y gráfica de la Entropía de Shannon</u> .....	26
<u>4.1.- Elementos del Módulo de lectura, cálculo y gráfica de la Entropía de Shannon</u> .....	27
<u>4.1.1.- Área de Título</u> .....	27
<u>4.1.2.- Área de Botones de comando: (Load record, crear CSV and NPY files y Plot Entropy)</u> .....	27
a) <u>Botón “Load Records”</u> .....	27
b) <u>Botón “CSV and NPY File”</u> .....	28
c) <u>Botón “Plot Entropy”</u> .....	28
<u>4.1.3.- Área de selección y parámetros de filtros</u> .....	29

<b>9 Área de selección del tipo de filtro a utilizar .....</b>	<b>29</b>
a) <b>Área de selección e introducción de los parámetros del filtro .....</b>	<b>29</b>
1) <b>Parámetro de Frecuencia (Hz) .....</b>	<b>29</b>
2) <b>Parámetro de orden del filtro .....</b>	<b>30</b>
3) <b>Parámetros de Frecuencia mínima y Frecuencia máxima (Hz.) .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1.4.- Área de selección de intervalos, ventanas de análisis y ventana de envolvente .....</b>	<b>30</b>
a) <b>Selección de los parámetros de la envolvente .....</b>	<b>30</b>
b) <b>Selección de la ventana de análisis .....</b>	<b>31</b>
c) <b>Selección de intervalo de tiempo .....</b>	<b>31</b>
d) <b>Selección del intervalo de tiempo inicial para representar en el eje x .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1.5.- Área de carga o camino (Path), donde se encuentran los registros y donde se almacenarán los ficheros de resultados CSV y NPY .....</b>	<b>33</b>
<b>4.1.6.- Área de Botones de comando: Limpiar, Regresar y Salir (Clean, Go Back y Exit) .....</b>	<b>33</b>
a) <b>Botón “Clear entries” .....</b>	<b>34</b>
b) <b>Botón “Go Back” .....</b>	<b>34</b>
c) <b>Botón “Exit” .....</b>	<b>34</b>
<b>4.2.- Validación de errores en registro o entradas .....</b>	<b>35</b>
a) <b>Validación para entrada de datos – Área de directorio de registros vacía .....</b>	<b>35</b>
b) <b>Validación para entrada de datos – Área de directorio y ficheros “CSV” y “NPY” vacía .....</b>	<b>35</b>
c) <b>Validación para entrada de datos – Parámetros de la Envolvente .....</b>	<b>35</b>
d) <b>Validación para entrada de datos – Intervalo de tiempo inicial y Final vacío .....</b>	<b>36</b>
e) <b>Validación para entrada de datos – Intervalo de tiempo inicial para el eje x .....</b>	<b>36</b>
f) <b>Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia vacío .....</b>	<b>36</b>
g) <b>Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Mínima vacío .....</b>	<b>36</b>
h) <b>Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Máxima vacío .....</b>	<b>36</b>
i) <b>Validación para entrada de datos – Valor de Orden de Filtro vacío .....</b>	<b>36</b>
j) <b>Validación en caso de ocurrir otro error de entrada .....</b>	<b>37</b>
<b>4.3.- Proceso de ejecución y resultados del módulo de lectura, cálculo y gráfica de la Entropía de Shannon .....</b>	<b>37</b>
<b>    4.3.1.- Ejemplo de procedimiento de cálculo de la Entropía de Shannon con ventana de análisis de 1 hora .....</b>	<b>38</b>
<b>    4.3.2.- Ficheros de resultados “CSV” y NPY” almacenados en la carpeta asignada por el usuario .....</b>	<b>42</b>
<b>        a) Fichero “CSV” .....</b>	<b>42</b>
<b>        b) Fichero “NPY” .....</b>	<b>43</b>
<b>    4.3.3.- Puntos con valores muy altos o negativos en las gráficas del cálculo de la Entropía de Shannon .....</b>	<b>43</b>
<b>MODULO III (Comparación de Envoltorios de la Entropía de Shannon, utilizando varias frecuencias de Filtros) .....</b>	<b>48</b>
<b>    5.-Módulo de Comparación de envolventes de la Entropía de Shannon, utilizando varias frecuencias de filtros .....</b>	<b>49</b>
<b>        5.1.- Elementos del Módulo de Comparación de envolventes .....</b>	<b>49</b>
<b>            5.1.1.- Área de Título .....</b>	<b>50</b>
<b>            5.1.2.- Área de Botones de comando: (Record, Clear entries y Plot Entropy) .....</b>	<b>50</b>
a) <b>Botón “Records” .....</b>	<b>50</b>
b) <b>Botón “Clear entries” .....</b>	<b>51</b>
c) <b>Botón “Plot Entropy” .....</b>	<b>51</b>
<b>            5.1.3.- Bloque de entrada de parámetros. Valores ventana Envolvente .....</b>	<b>52</b>
a) <b>Selección de los parámetros de la envolvente .....</b>	<b>52</b>
b) <b>Selección del intervalo de tiempo .....</b>	<b>52</b>
<b>            5.1.4.- Área de selección de tipo de filtros, entrada de parámetros y orden de filtro .....</b>	<b>53</b>
a) <b>Área de selección del tipo de filtro a utilizar .....</b>	<b>53</b>
b) <b>Área de selección e introducción de los parámetros del filtro .....</b>	<b>54</b>

c) <a href="#">Parámetro de orden de filtro</a> .....	54
<a href="#">5.1.5.- Área de carga o camino (Path), del directorio y los registros a utilizar</a> .....	55
<a href="#">5.1.6.- Área de Botones de comando: (Back y Exit)</a> .....	55
a) <a href="#">Botón “Back”</a> .....	55
b) <a href="#">Botón “Exit”</a> .....	55
<a href="#">5.2.- Validación de errores en registro o entradas</a> .....	56
a) <a href="#">Validación para entrada de datos – Área de directorio (Path) de registros vacía</a> .....	56
b) <a href="#">Validación para entrada de datos – Parámetros de la Envoltura</a> .....	56
c) <a href="#">Validación para entrada de datos – Intervalo de tiempo inicial vacío</a> .....	56
d) <a href="#">Validación para entrada de datos – Intervalo de tiempo final vacío</a> .....	57
e) <a href="#">Validación para entrada de datos – Valor de Orden de Filtro vacío</a> .....	57
f) <a href="#">Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia, Filtro 1 vacío</a> .....	57
g) <a href="#">Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia, Filtro 2 vacío</a> .....	57
h) <a href="#">Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia, Filtro 3 vacío</a> .....	57
i) <a href="#">Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia, Filtro 4 vacío</a> .....	57
j) <a href="#">Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia, Filtro 5 vacío</a> .....	57
k) <a href="#">Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Mínima, Filtro 1 vacío</a> .....	58
l) <a href="#">Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Máxima, Filtro 1 vacío</a> .....	58
m) <a href="#">Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Mínima, Filtro 2 vacío</a> .....	58
n) <a href="#">Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Máxima, Filtro 2 vacío</a> .....	58
o) <a href="#">Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Mínima, Filtro 3 vacío</a> .....	58
p) <a href="#">Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Máxima, Filtro 3 vacío</a> .....	58
q) <a href="#">Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Mínima, Filtro 4 vacío</a> .....	59
r) <a href="#">Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Máxima, Filtro 4 vacío</a> .....	59
s) <a href="#">Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Mínima, Filtro 5 vacío</a> .....	59
t) <a href="#">Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Máxima, Filtro 5 vacío</a> .....	59
u) <a href="#">Validación en caso de ocurrir otro error de entrada</a> .....	59
<a href="#">5.3.- Proceso de ejecución y resultados del módulo de Comparación de envolventes</a> .....	59
<a href="#">5.3.1.- Ejemplo de procedimiento de comparación de envolventes, utilizando varias frecuencias de filtros</a> .....	60
<a href="#">5.3.2.- Ejemplo de procedimiento de comparación de envolventes, utilizando varias frecuencias de filtros, con un intervalo de tiempo</a> .....	62
<a href="#">5.3.3.- Ejemplo de procedimiento de comparación de envolventes, utilizando varias frecuencias de filtros, con dos tipos de volcán y erupciones</a> .....	64
<a href="#">6.- Barra de Herramientas de las gráficas (Librería Matplotlib)</a> .....	66
<a href="#">6.1.- Guardar las gráficas</a> .....	66
<a href="#">6.2.- Edición de los ejes e imágenes de las Gráficas</a> .....	68
<a href="#">Anexo A</a> .....	72
<a href="#">A1.- Instalación de Python y librerías adicionales</a> .....	72
<a href="#">A1.1. Contenido del paquete de Instalación</a> .....	72
<a href="#">A1.2.- Instalación de Python en Windows</a> .....	72
<a href="#">A1.3.- Instalación de librerías adicionales</a> .....	73
<a href="#">A1.4 Instalación automática de las librerías en Windows y Linux a partir del PIP</a> .....	76
<a href="#">Anexo B</a> .....	77
<a href="#">Instalar librerías Python, para el correcto funcionamiento del sistema</a> .....	77

El “*Estimador de entropía de Shannon para la caracterización de señales sísmicas volcánicas con software Python*” constituye una interfaz amigable, que permite una fácil y eficiente gestión, para trabajar con los formatos de señales sísmicas más utilizados en los observatorios, como son los formatos: (*SEISAN, GSE2, EVT, GCF, WAV, MSEED y SAC entre otros*). El sistema se compone de varios módulos independientes que realizan acciones de lectura, filtrado de señales, por medio de una o tres componentes, presentación de gráficas de las señales originales y filtradas, cálculo de la entropía de Shannon (*original y normalizada*), envolvente de la entropía de Shannon, cálculo de la Kurtosis y del índice de frecuencia y presentación de la comparación de la envolvente, mediante el cálculo de cinco tipos de intervalos de frecuencias en un filtro seleccionado. Este procedimiento, constituye una ayuda práctica en algunos observatorios que deben que disponer de programas y software específicos, en ocasiones complicados, para realizar lectura, cálculo de las operaciones, presentación de formatos diversos, debido en una parte a que la adquisición de datos se realiza a través de sitios externos, que los operadores no manejan o controlan, o les son suministrados por otros observatorios, cuyos formatos de operación son diversos a los que serán tratados y analizados en el observatorio receptor. Por estas razones, es importante y sumamente útil para el operador humano, disponer de un sistema, que realice el proceso de cálculo de parámetros como la Entropía de Shannon, la Kurtosis, y el índice de frecuencia (*complementados de las respectivas envolventes*), que obtengan resultados de manera más fiable y sencilla. Para que, de esta forma, brinden mucha más información sobre los procesos (*pre-eruptivo-post*), de los volcanes que redunden en mejores sistemas de alerta temprana.

El sistema para realizar todos los aspectos anteriores, se compone de tres módulos independientes:

- 1.- Módulo de lectura y filtrado de señales: (*Read, filtering and plot Seismic-signals*), mediante una o tres componentes.
- 2.- Módulo de cálculo y presentación de la Entropía de Shannon (*original, normalizada*), Índice de frecuencia y Kurtosis, con sus respectivas envolventes, en base a ventanas de análisis (10 minutos, una y veinticuatro horas).
- 3.- Módulo de comparación de la envolvente, a través de la lectura, filtrado y gráficas de envolventes de la entropía de Shannon, mediante el filtrado de cinco intervalos de frecuencia determinados por el usuario.

**NOTA IMPORTANTE:** Para la correcta lectura y procesamiento en los módulos de los registros, las carpetas que los contienen, **deben** de estar indicados o numerados en días julianos (001-365). Independientemente, del cuerpo del nombre que lo precede. Ejemplos válidos de ellos son; (*UC.INCA.HHZ.D.2020.001 - NU.TELN.00.EHZ.D.2020.280 - C7.PLPI.HHZ.D.2022.004*). Se recomienda, transformar los nombres de los registros a esta nomenclatura.

El sistema ha sido desarrollado en el lenguaje Python, versión 3.8.6. (*El conjunto de librerías son compatibles con la versión 3.10.10*). Asimismo, se incluyen una serie de librerías de libre acceso que en conjunción con Python, trabajan y facultan el uso de herramientas gráficas y de análisis, otorgando sencillez en su uso e incrementando la potencia de cálculo para el usuario. Enumerando algunos de los principales elementos y librerías aquí utilizados, se encuentran los siguientes:

- **Matplotlib:** Para generar gráficos. (<https://matplotlib.org/stable/users/index.html>)
- **NumPy:** Para el cálculo numérico. (<https://numpy.org/doc/stable/user/quickstart.html>)
- **PyQt5:** Herramienta que enlaza con la biblioteca gráfica Qt5 en C++ (<https://pypi.org/project/PyQt5/>)
- **Obspy:** Para el procesamiento de datos sismológicos. (<https://docs.obspy.org/>)
- **Tkinter:** Interfaz gráfica de usuario GUI (<https://docs.python.org/3/library/tkinter.html>)

Otra de las características principales del sistema es su definición como multiplataforma, es decir, que puede funcionar bajo diversas plataformas o sistemas operativos, tales como Windows (7, 8, 10, 11), en versiones para 32 y 64 bits. Además de sistemas Linux, como Ubuntu y otros sistemas similares (*Debian, Red Hat, Fedora, SUSE, etc.*), Mac, o Android para Tablets y móviles (*previa adecuación de Python para estos dispositivos*).

**NOTA:** En los anexos de este mismo documento (al igual que en los ficheros *Readme.txt* e *Initials\_requirements.txt*), se podrá acceder a los aspectos generales de la instalación en sistemas Windows y Linux, así como establecer las pautas necesarias de la instalación de los programas principales y las librerías adicionales que Python requiere, para ejecutar correctamente los programas desarrollados en su entorno.

## 2.- Pantalla Inicial del Sistema

[Regresar al Índice](#)

Para la instalación del sistema en Windows<sup>1</sup>, básicamente hay que realizar dos acciones:

- Copia de la carpeta “EntropySis1” en “Mis documentos” de Windows.
- Copia del fichero “EntropySis1.bat” en el “Escritorio” de Windows.

Previamente, instalar Python y las librerías adicionales de Python cuyas instrucciones se encuentran en el fichero “Initials\_requirements.txt” o al final de este documento (*Cfr. Anexos A y B, Pág. 70-75*). Una vez copiado “EntropySis1.bat” en el escritorio, se debe de dar clic derecho e indicar: “Ejecutar como administrador”.



Fig. 1 Ventana emergente al dar clic derecho del ratón al fichero “EntropySis1.bat”

En la pantalla que se abre, dar clic en el botón “Si/Yes”, cuando pregunte “Desea permitir que esta aplicación realice cambios en su ordenador”. Este es un mensaje de advertencia. Sin embargo, la aplicación no realiza ningún cambio. Por lo que se debe de confiar en su ejecución.

Al dar clic a “SI/Yes”, se abre la siguiente ventana de comandos, que indica la bienvenida al sistema.

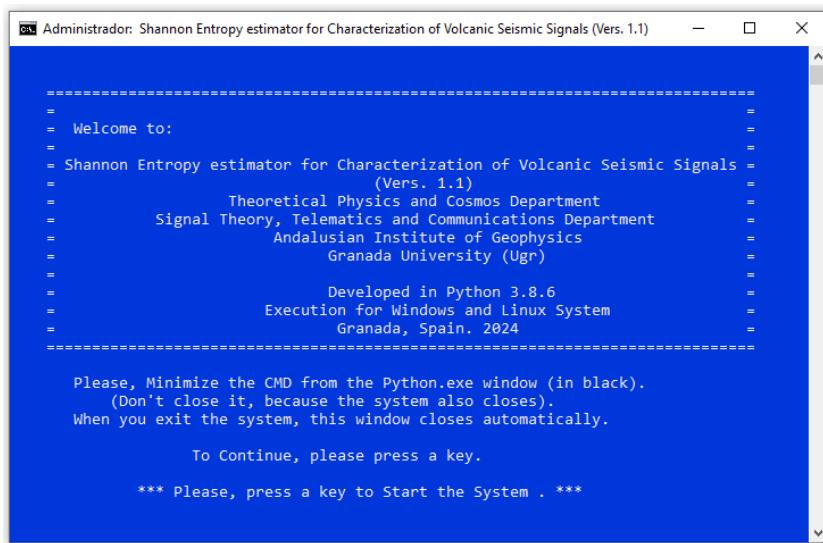


Fig. 2 Pantalla de Bienvenida e instrucciones para carga del sistema.

Después de leer lo que indica la ventana, solo se debe de proceder a presionar cualquier tecla, para acceder a la pantalla inicial del sistema. El sistema ya debe estar previamente copiado en “**Mis documentos**” e instaladas las librerías adicionales. Con esto, el fichero “EntropySis1.bat” tiene todas las instrucciones de carga del programa.

<sup>1</sup> Para la instalación en Sistemas Linux o Mac, consultar el fichero README.txt y los Anexos en este documento.

La pantalla inicial del sistema es “[Menu1.py](#)”. Se visualiza cuando se presiona cualquier tecla en la pantalla de Bienvenida. Adicionalmente, se presenta la ventana o “*consola de comando*” de Python (*pantalla con fondo en negro*), similar a la siguiente:

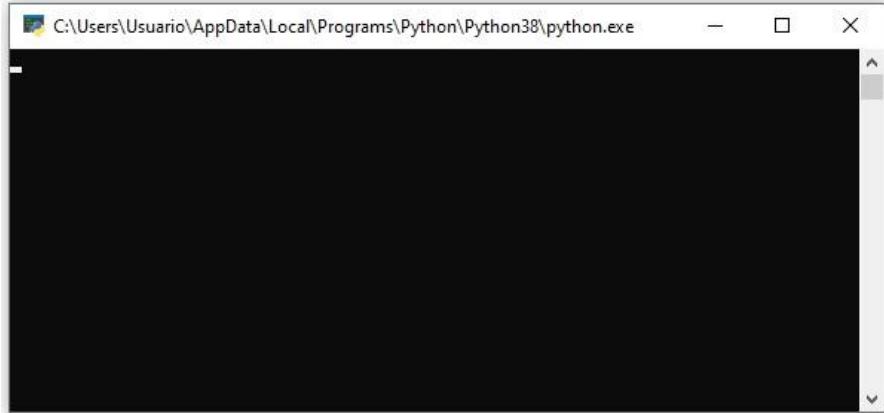


Fig. 3 Pantalla de consola (CMD) de Python (*Se debe de minimizar*)

Para que no obstaculice la visión, se puede y es conveniente “[minimizar](#)” dicha pantalla. “[No](#)” hay que cerrarla, ya que esto también cerraría la ventana de inicio del sistema. Al salir, finalizados los trabajos con el sistema, esta ventana se cierra automáticamente. La pantalla inicial “[Menu1.py](#)” (*que contiene el acceso a los módulos del sistema*), es la siguiente:



Fig. 4 Pantalla inicial “Menu1.py”, de introducción y menú principal del sistema.

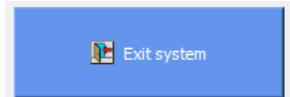
## 2.1.- Elementos de la pantalla inicial

Como se observa en la figura anterior, la pantalla inicial o de presentación, es una ventana sencilla, que está compuesta por: Tres botones de comandos para acceso a los módulos y en la parte inferior izquierda se presentan el botón de salida del sistema.

- a) En la parte superior se encuentra visible el nombre e ícono de la Universidad.



- b) En la parte inferior se observan el botón de comandos: “*Exit system*” (Salir).



Cuando se coloca el puntero del ratón (*mouse*), sobre el botón, se presenta un texto que indica la acción de dicho botón (*salida Sistema*).



Si se pulsa o da clic al botón de “*Exit system (Salir)*”, se presenta una ventana que pregunta al usuario, si está seguro de abandonar el sistema.

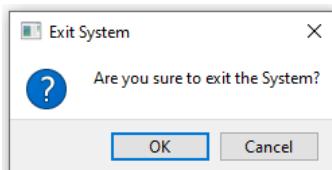


Fig. 5 Caja de texto que indica si se desea salir del sistema.

En caso de dar “*OK*”, se cierra la pantalla y se completa la salida del sistema. En caso de dar clic a “*cancelar*”, continúa el menú inicial. El menú contiene tres botones de comandos, que acceden a cada módulo del sistema. Los botones se observan en la imagen inferior. Al dar clic a cada uno de los botones, se accede al módulo correspondiente. Esto se desarrolla en los siguientes apartados.

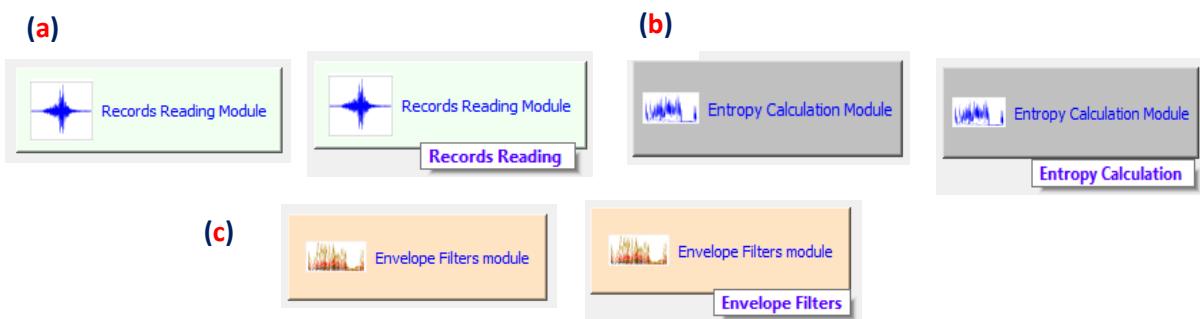
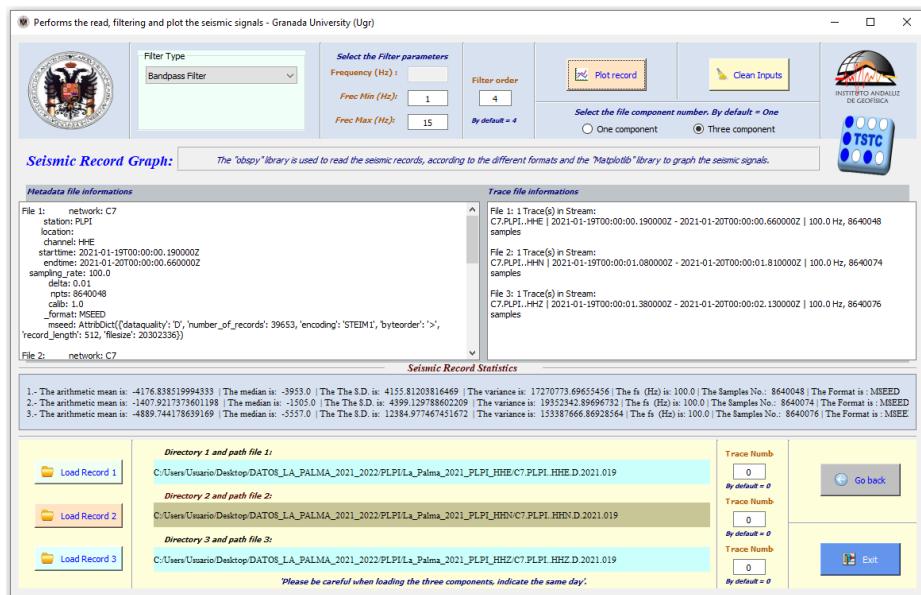
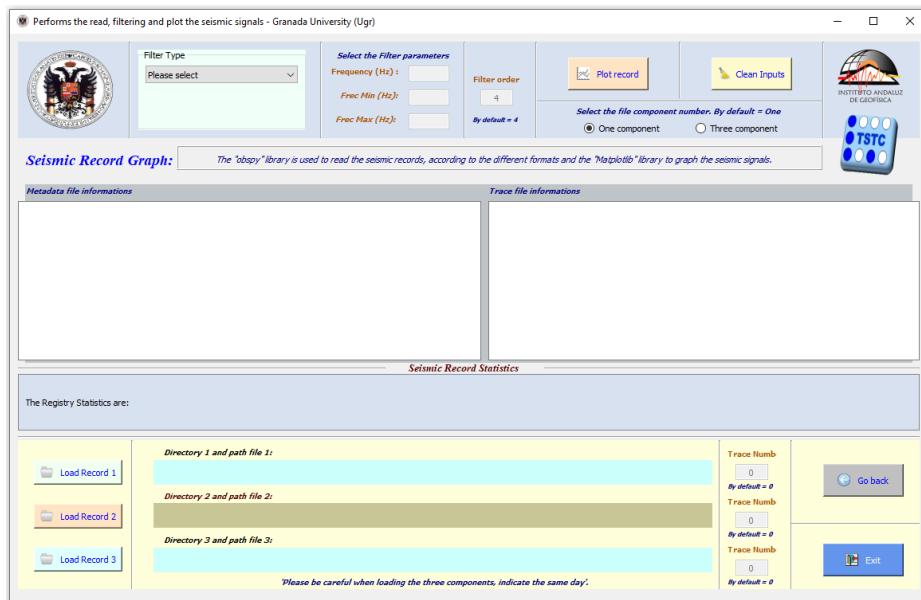


Fig. 6 Botones de comandos de acceso a los módulos del sistema. **a)** Lectura y gráficas de los registros, **b)** Cálculo y gráficas de la entropía y su envolvente, **c)** Lectura y gráficas de la envolvente por filtros.

# MODULO I

## LECTURA Y GRÁFICA DE LOS REGISTROS



### 3.- Módulo de lectura y gráfica de los registros.

El módulo de lectura y gráfica de los registros (*ReadSignals.py*), permite la lectura, filtrado y gráfica de los registros. “*Performs the read, filtering and plot the Seismic-signals*”. El objetivo de este primer módulo, es obtener una imagen inicial de los registros, para poder decidir, con cual o qué carpetas de registros se va a realizar el cálculo de la Entropía de Shannon y su envolvente. Con esta interfaz, pueden obtenerse las gráficas por medio de una o tres componentes. Similarmente, representar las gráficas por medio de las diversas trazas (*en caso de existir*), que componen algunos registros como los MSEED. La interfaz y sus componentes es la siguiente.

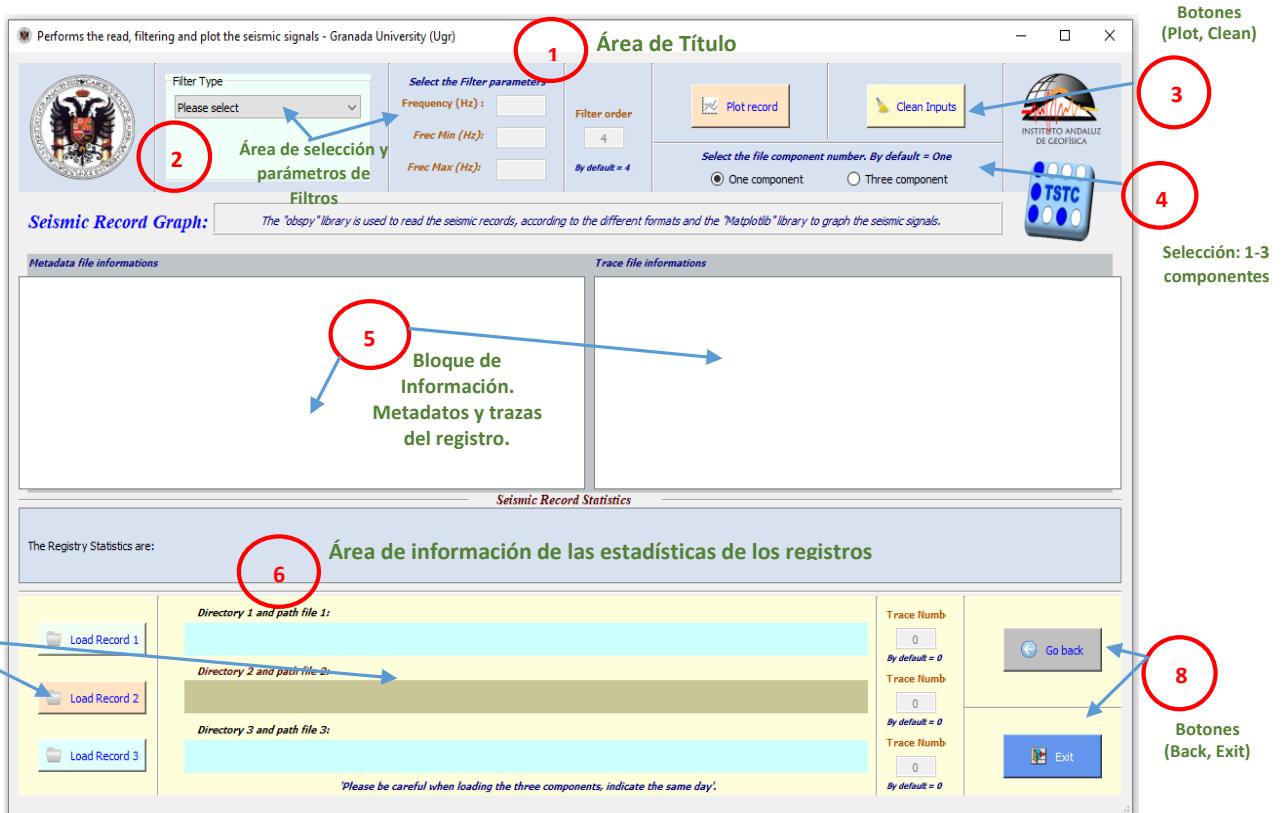


Fig. 7 Interfaz del módulo de lectura, filtrado y gráfica de registros y elementos que la componen.

Como se observa en la figura anterior, los elementos que componen esta interfaz son los siguientes:

- 1) Área de Título
- 2) Área de Filtros
- 3) Botones de comandos Graficar y Limpiar entradas (*Plot Record* y *Clean Inputs*).
- 4) Selección de una o tres componentes.
- 5) Bloque de información de los metadatos y trazas del registro.
- 6) Área de información de las estadísticas de los registros.
- 7) Bloque de comandos de carga, camino donde se almacenan los registros y sus trazas (una o tres componentes).
- 8) Botones de comando Regresar y Salir (*Go Back* y *Exit*).

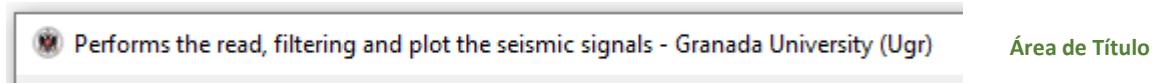
#### 3.1.- Elementos del Módulo de lectura y gráfica de los registros.

Los elementos que integran la pantalla principal se detallan a continuación.

## 3.1.1.- Área de Título.

1

Se indica en la parte superior de la pantalla de la interfaz del módulo. En ella se observa; Nombre del programa, icono y nombre de la Universidad como título (1).



Área de Título

Además del área de título, número (1), se observan los diversos elementos de la interfaz, que se enumeran del (2-8) en los círculos rojos. Se describirá a continuación, cada uno de estos elementos y son los siguientes:

## 3.1.2.- Área de filtros.

2

Se componen de tres secciones, marcadas en los círculos verdes en la siguiente imagen.



Fig. 8 Área de filtros. En los círculos verdes: a) Selección del tipo de filtro, b) Selección de los parámetros de los filtros, c) Selección del orden del filtro.

- a) Selección del tipo de filtro: Se dispone de cuatro tipos de filtro a elegir: Paso-bajo (Lowpass<sup>2</sup>), paso-alto (Highpass<sup>3</sup>), paso-banda (Bandpass<sup>4</sup>) y detiene-banda (Bandstop<sup>5</sup>)

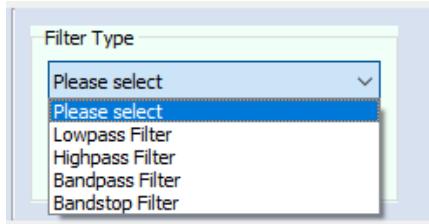


Fig. 9 Selección del tipo de filtros

Al inicio, por defecto, se encuentra determinado por “*Please Select*” (*Por favor, Seleccionar*). Una vez que el usuario determina o elige un filtro a utilizar, se activarán las casillas para introducir los parámetros de entrada (b), de acuerdo al tipo de selección.

**NOTA IMPORTANTE:** Las entradas en cada casilla se encuentran validadas, para recibir únicamente entradas numéricas, no se permite introducir caracteres alfabéticos o letras. Así mismo, los valores se encuentran centrados en la casilla y cada valor se encuentra de acuerdo al elemento a introducir. Es decir, la casilla del orden de filtro solo acepta valores enteros hasta dos dígitos, en cambio las casillas de las frecuencias, aceptan valores decimales.

<sup>2</sup> El filtro Paso-bajo bloquea las señales de alta frecuencia y deja pasar las de baja frecuencia (frecuencias inferiores a la frecuencia de corte).

<sup>3</sup> El filtro Paso-alto bloquea las señales de baja frecuencia y deja pasar las de alta frecuencia (frecuencias superiores a la frecuencia de corte).

<sup>4</sup> El filtro Paso-banda deja pasar el contenido espectral sólo en un entorno de la frecuencia central. Esta ventana es creada a través de un valor de frecuencia mínimo y un valor de frecuencia máximo. Elimina el ruido asociado a bajas y altas frecuencias generadas (y/o residuales).

<sup>5</sup> El filtro Detiene-banda no permite el paso de señales cuyas frecuencias se encuentran comprendidas entre las frecuencias de corte superior e inferior. Es decir, elimina frecuencias o detiene una banda de frecuencias en particular.

- b) Selección de los parámetros del filtro: En el caso de que el usuario seleccione el filtro paso-bajo (*Lowpass*) o el filtro paso-alto (*Highpass*), se activará la casilla de: frecuencia, parte (a) de la figura inferior, las otras casillas permanecen desactivadas. Si el usuario selecciona los filtros; paso-banda (*Bandpass*) y detiene-banda (*Bandstop*), se activarán las casillas de frecuencia mínima, frecuencia máxima, parte (b) de la figura inferior. La casilla de frecuencia permanece desactivada. Los valores de entrada de los datos (*centrados*), en estas casillas se encuentran validados a recibir números decimales.

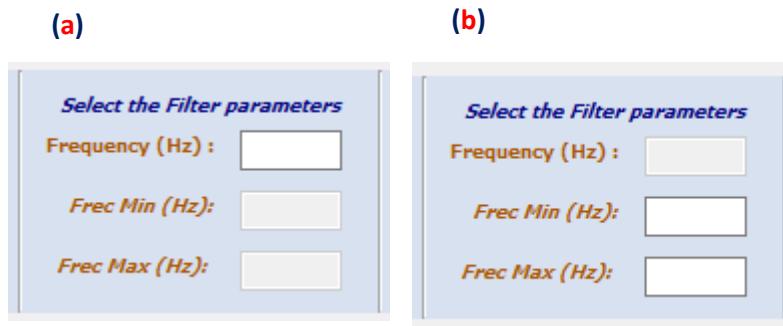


Fig. 10 Selección y entradas de los parámetros de acuerdo al tipo de filtro seleccionado. (a) Casilla frecuencia, para los filtros Paso-bajo (Lowpass) y Paso-alto (Highpass) y (b) Casillas frecuencia mínima y frecuencia máxima, para los filtros Paso-banda (Bandpass) y Detiene-banda (Bandstop)

- c) Selección del orden de filtro: Por defecto, el orden de filtro se encuentra al igual que todas las casillas al inicio desactivado y en un valor de 4 (Cfr. Figura 11). Al seleccionar cualquiera de los cuatro tipos de filtros disponibles, esta casilla se activa, para que el usuario si así lo desea, pueda cambiar el valor del orden de filtro. Los valores de entrada de los datos (*centrados*), en esta casilla se encuentran validados a recibir únicamente número enteros de hasta dos cifras.



Fig. 11 Selección y entrada del parámetro del orden de filtro. Por defecto, su valor se encuentra determinado por defecto en un valor de cuatro (*el usuario puede modificar el valor de este parámetro si así lo estima conveniente*).

### 3.1.3- Botones de comandos Graficar y Limpiar entradas (Plot Record y Clean Inputs)

3

En esta sección se encuentran los botones de comandos que permiten la creación de las gráficas “*Plot record*” (a), y limpieza de entradas “*Clean Inputs*” (b).



Fig. 12 Botones de comandos para la creación de gráficas (Plot record) (a) y para la limpieza de entradas (Clean Inputs) (b). Se observan los textos que presentan los botones al poner el cursor sobre ellos.

- a) Botón de comando “*Plot record*” (*Graficar registro*), realiza la creación de las gráficas, una vez que se han definido todos los parámetros de entrada. Por defecto al inicio, este botón se encuentra desactivado. Únicamente se activará, al seleccionar el tipo de filtro que el usuario desea implementar con los registros.



**NOTA:** Más adelante en este documento, se describe la acción completa del botón (Cfr. Sección 3.3.).

- b) Botón de comando “*Clean Input* (*Limpiar entradas*)”, limpia o borra los elementos de entrada. Además, cierra los gráficos existentes y deja la pantalla de análisis como al inicio, preparada para una nueva búsqueda y un nuevo análisis de los eventos sísmicos.



Se dispone de una validación en la ejecución de este botón, para prevenir cualquier borrado accidental que el usuario realizará con los parámetros de entrada. Al dar clic en dicho botón, se presenta una ventana de dialogo, que pregunta al usuario si realmente desea borrar las entradas que ha realizado. Esta ventana es la siguiente.

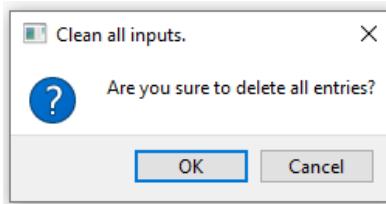


Fig. 13 Ventana de dialogo de verificación del borrado de entradas por parte del usuario.

Como se observa en la figura, en caso de que se deseé realmente borrar las entradas, se da clic al botón de “*OK*”, con lo que todas las entradas se eliminarán y la pantalla de la interfaz del módulo presentará los valores iniciales (*con las casillas desactivadas*). En caso contrario, si por algún error o descuido se había pulsado el botón de limpieza y el usuario no desea esto, se da clic al botón de “*Cancel*” y la ejecución retornará nuevamente a la pantalla de la interfaz principal.

#### 3.1.4.- Selección de una o tres componentes.

4

En esta sección el usuario podrá elegir entre analizar una o tres componentes de los registros sísmicos.



Fig. 14 Selección de una (A) o tres componentes (B) a trabajar.

Por defecto, como indica el mensaje expuesto, al inicio se encuentra marcado el trabajar con una componente (a). El usuario podrá decidir si trabajar con las tres componentes (b), al marcar la casilla correspondiente. Al seleccionar ya sea una o tres componentes se activarán uno o tres botones de comandos para la carga de registros, al igual que una o tres casillas de las trazas correspondientes (Cfr. sección 3.1.7).

### 3.1.5.- Bloque de información de los metadatos y trazas del registro.

5



Fig. 15 Sección de presentación de la información contenida en los registros de “Metadatos” y “Trazas del registro”

En estos dos bloques, se presentan los resultados de los análisis concernientes a los metadatos (a) y trazas de los registros (b). Algo importante a destacar en la sección de “**Datos-Metadatos y Trazas**”, es que dicha área es editable, es decir, que se puede seleccionar y copiar la información, para luego pegarla en un fichero de bloc de notas, Word, etc. Si el número de trazas de los registros (b) es variado o más de uno, se puede copiar y pegar esta información en un fichero de Excel, para de esta forma poder crear una tabla que indique el número de trazas y así se puedan seleccionar con más facilidad (*Cfr. Sección 3.3., paso “c”*). Así se puede consultar o utilizar a posteriori dicha información contenida en los registros. La información se presentará automáticamente al dar clic al botón de comando “*Plot record*”. Al utilizar el botón “*Clean Inputs*”, la información contenida en estas secciones se eliminará.

### 3.1.6.- Área de información de las estadísticas de los registros.

6

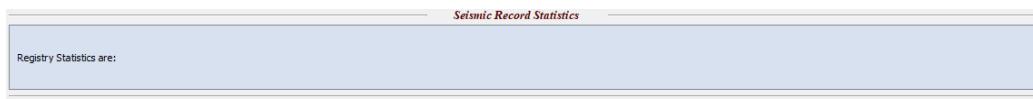


Fig. 16 Sección de presentación de las estadísticas de los registros.

En este apartado, se presentan las estadísticas generales de los registros. Los elementos que constituyen dicha información son los siguientes:

- a) La red sísmica que ha grabado los datos.
- b) La estación de dicha red que los ha grabado.
- c) La localización.
- d) El canal a través del cual han sido grabados los datos.
- e) Hora Inicial de grabación.
- f) Hora final de grabación.
- g) Frecuencia de muestreo.
- h) Cantidad de muestras que posee el registro.
- i) Tipo de Formato del registro.

### 3.1.7.- Bloque de comandos de carga, camino donde se almacenan los registros y las Trazas correspondientes (*una o tres componentes*).

7

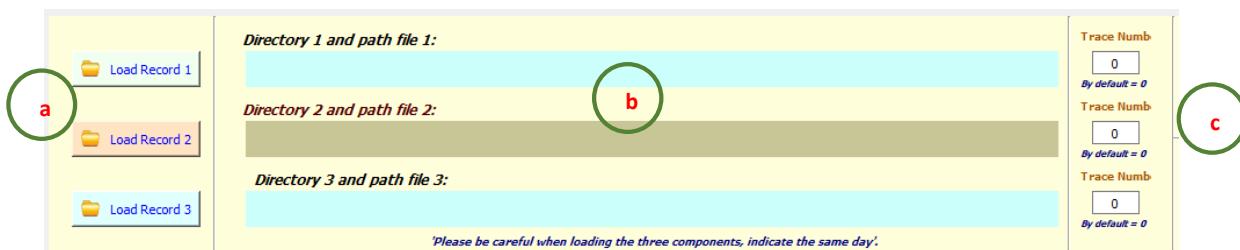


Fig. 17 Sección de bloque de comandos de carga de registros (a), Presentación del directorio o camino físico en donde se almacena el registro (b), número de traza del registro (c). En cualquiera de los casos ya sea de una o tres componentes.

- a) Bloque de comandos de carga: Esta sección del bloque, presenta los Botones de comando para la carga de registros, con una o tres componentes

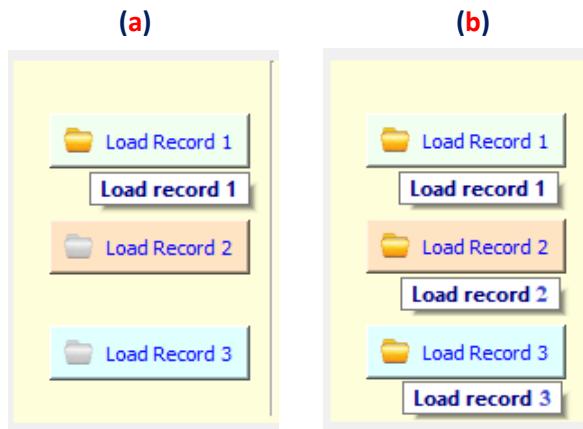


Fig. 18 Sección de los botones de comando que permiten la carga de los registros. (a) Para carga de registros con una componente, (b) Para carga de registros con tres componentes.

Por defecto, estos botones de comandos al inicio se encuentran desactivados, se activarán cuando se seleccione el tipo de filtro que se va a utilizar, dependiendo si está marcada la casilla de una o tres componentes. Como se observa en la figura la parte (a), presenta la carga del registro sísmico en una componente. Esto ocurre, cuando en el apartado 3.1.4 anterior se selecciona la casilla de una componente. En este caso, solamente se activa el primer botón de comando, para el registro 1, los otros dos botones de comando, para los registros 2 y 3 se encuentran desactivados. En cambio, en la parte (b), se observa que los tres botones de comando han sido activados. Esto ocurre, cuando en la sección 3.1.4 ha sido seleccionada la casilla de tres componentes.

Al dar clic a cualquiera de estos botones, se presenta una ventana de diálogo de Windows que pregunta la ubicación en donde se almacena el registro a cargar. Dicha ventana es similar a la siguiente.

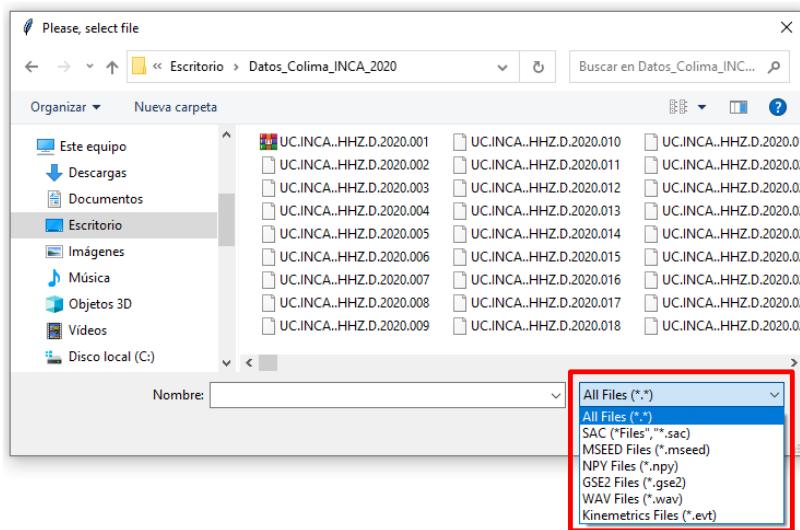


Fig. 19 Pantalla de selección de registros a cargar

La acción del botón de “*Load Record* (Carga Registro)”, permite al hacer clic, abrir una ventana de explorador (*por defecto, se encuentra el camino en el directorio raíz “C” del PC*), presentando las opciones de los diversos tipos de formatos (*cuadro rojo*) disponibles y permitiendo realizar la búsqueda en el directorio del ordenador.

En la pantalla de la figura 19 (*El Idioma lo determina el sistema operativo*), se seleccionan los registros de acuerdo al formato que se desee (SAC, MSEED, GSE2, EVT, etc.). Esto es posible a través de la librería de lectura de formatos sísmicos “**Obspy**”. Al seleccionar el registro se visualiza en la casilla “**Nombre**” de la pantalla, se puede dar clic al botón de “Abrir” (cuadro rojo), para que el registro situado en el directorio seleccionado, pueda cargarse.

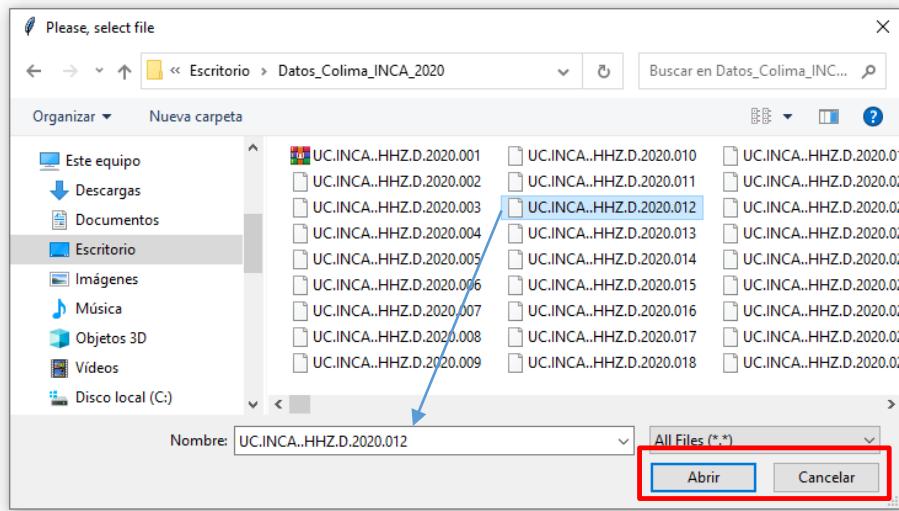


Fig. 20 Pantalla de selección de un registro

Por lo tanto, ya seleccionado el registro, se da clic al botón de “**Abrir**” y el registro se carga y este camino se visualiza el camino de carga en el área a la derecha del botón (*parte “b”, abajo descrita*). En caso contrario se da clic al botón de “**Cancelar**” y la acción regresa a la pantalla de análisis.

- b) Área del Camino donde se almacenan los registros: Esta segunda sección del bloque, presenta el camino físico, donde se encuentra el directorio y el registro (*ya sea de una o tres componentes*), que se desea cargar para analizar (*después de haberlo seleccionado mediante el botón de comando de la sección anterior*). De esta forma, se reservan tres espacios para presentar la información, dependiendo si se trabaja con una o tres componentes de los registros (*File 1*, *File 2* y *File 3*).

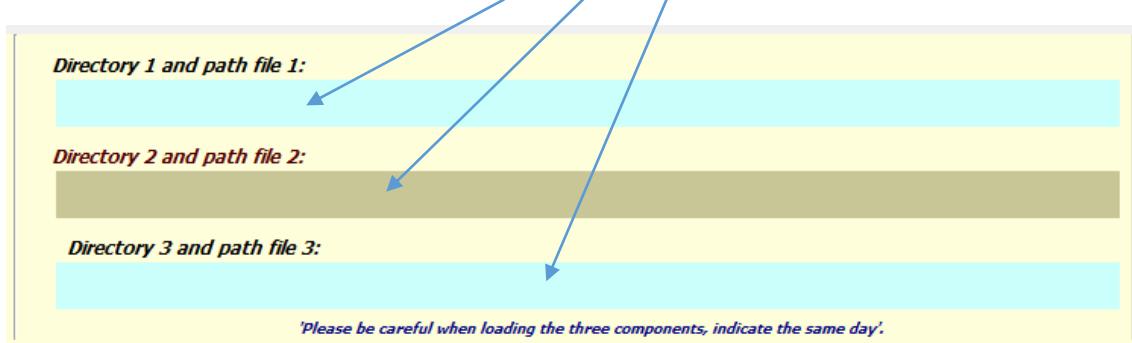


Fig. 21 Cuadros de ruta de archivo, que presenta la ubicación física de los registros.

**NOTA:** Como indica el mensaje que se observa en la parte inferior de la anterior figura, se debe de tener cuidado de cuando se seleccionan las tres componentes, indicar el mismo día para las tres componentes: Norte-Sur, Este-Oeste y Vertical.

- c) Área de las Trazas correspondientes (*una o tres componentes*): La tercera sección del bloque, indica el número de traza de cada registro. Se observa en la siguiente figura.



Fig. 22 Cuadros de texto, que muestran el número de trazas de los registros. Por defecto el valor es cero "0"

Como se observa en la imagen, por defecto el valor inicial del número de traza es cero "0". En caso de que el registro posea más de una traza (*al tratarse de registros múltiples como MSEED*), se indica el número de traza que se desea representar en el cuadro de texto. Cada casilla corresponde a un registro, en la imagen se advierte que se ha designado un registro (*cuadro rojo*) de una componente (*registro 1*), las dos casillas siguientes (*registros 2 y 3*) están desactivadas. Al seleccionar tres componentes, las casillas o cuadros de texto se activan y pueden colocarse si se desea y así es conveniente, el número de traza correspondiente. La validación de estas casillas, indica que solo aceptan números hasta tres dígitos.

### 3.1.8.- Botones de comando Regresar y Salir (Go Back y Exit).

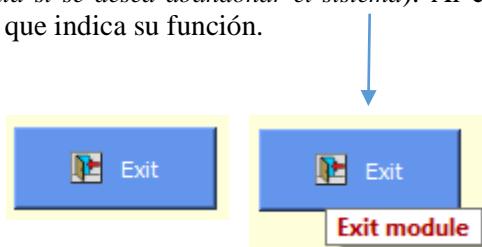
8

Este último bloque lo componen los siguientes elementos:

- a) Botón “**Go Back**”: Permite regresar a la pantalla inicial de presentación del sistema (*Menú principal*). Al colocar el puntero del ratón, exhibe un mensaje que indica su función.



- b) Botón “**Exit**”, permite la salida completa del módulo y sistema (*Previa presentación de la pantalla que pregunta si se desea abandonar el sistema*). Al colocar el puntero del ratón, exhibe un mensaje que indica su función.



De la misma forma que en la pantalla de inicio, si se pulsa o da clic al botón de “**Exit**”, se presenta una ventana que pregunta al usuario, si está seguro de abandonar el módulo y sistema.

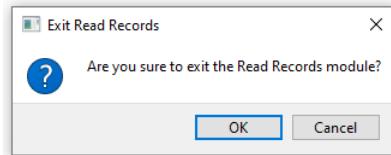


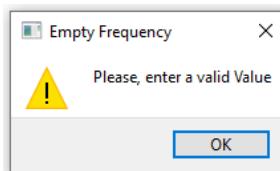
Fig. 23 Caja de texto que indica si se desea salir del módulo y sistema

Al dar clic a “OK”, se cierra la pantalla y se completa la salida del módulo y sistema. “Cancel” continúa en la pantalla de análisis.

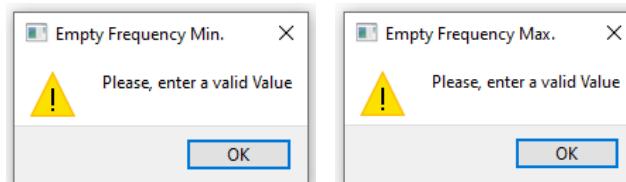
### 3.2.- Validación de errores en registro o entradas.

En caso de que se quiera graficar, es decir, dar clic al botón de “**Plot record**” (*Graficar registro*), sin introducir datos en cualquiera de las casillas o cuadros de texto de entradas de datos, se presentará una validación, que visualiza una caja de diálogo de advertencia o error, que indica que se ha de realizar alguna acción para corregir las entradas. Además, estas cajas de diálogo, permiten que la ejecución del programa siga su curso, sin que haya una interrupción severa del sistema por falta de datos. Las validaciones de entradas incorrectas son las siguientes:

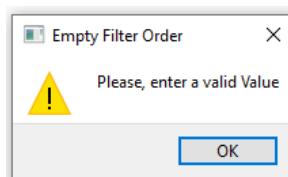
- a) Validaciones para entrada de datos - frecuencia vacía.



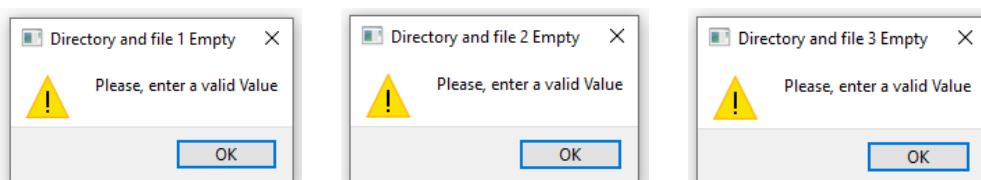
- b) Validación para entrada de datos - frecuencias mínimas y máximas vacías.



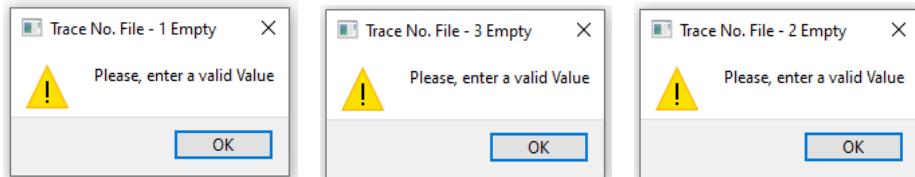
- c) Validación entrada de datos - orden de filtro vacío.



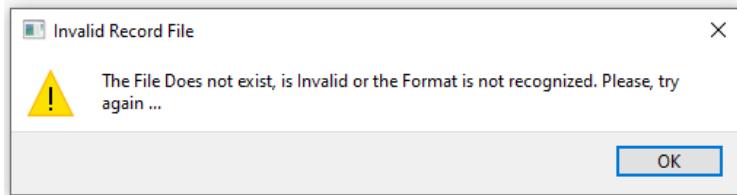
- d) Validación entrada de datos - directorios y archivos vacíos.



- e) Validación entrada de datos - número de traza vacía.



- f) Validación en caso de ocurrir otro error de entrada o archivo inválido.



De acuerdo al mensaje de la figura anterior, se ha producido un error de entrada (*diferente a los anteriores*) debido a que no se reconoce el formato, es inválido o el registro no existe. Además, puede que también los parámetros o entradas se encuentren fuera del rango permitido de acuerdo a la señal que se va a analizar. Al pulsar el botón de “OK” se retorna de nuevo al sistema, para elegir un archivo válido o corregir las entradas erróneas. De esta forma, continua la ejecución del programa sin presentar problemas.

### 3.3.- Proceso de ejecución y resultados del módulo de lectura y gráficos.

El proceso para realizar la carga, filtrado y gráfica de un registro ya sea de una o tres componentes es muy sencillo, consta de los siguientes pasos (*Se recomienda seguir estos pasos*):

- a) Seleccionar si se desea una o tres componentes (por defecto se indica una componente).
- b) Seleccionar el tipo de filtro (Paso-bajo, Paso-Alto, Paso-banda o Detiene-Banda).
- c) Dar las entradas de los parámetros del filtro de acuerdo al tipo seleccionado.  
Para los filtros paso-bajo y paso-alto, introducir un valor válido de “frecuencia”. Para los filtros de Paso-banda y Detiene-banda, introducir valores válidos de frecuencia mínima y frecuencia máxima.
- d) Dar entrada si se requiere al orden de filtro o dejar el valor por defecto = 4
- e) Dar clic en el botón de “Load Record 1”, que seleccionará el registro a cargar. En la pantalla de dialogo de Windows, buscar o seleccionar un determinado registro. Por defecto, la ruta inicial se encuentra en el directorio raíz “C” del PC, ya sean en el sistema Windows o Linux). Una vez seleccionado, dar clic al botón “Abrir” (se visualiza el registro ruta del archivo (*Directory 1 and path file 1*)).
- f) Dar entrada el número de traza del registro o dejar el valor por defecto = 0
- g) Dar clic al botón de “**Plot record**”, para graficar el registro y presentar la información del registro.

La descripción del anterior proceso es para una componente. En caso de que se seleccionen las tres componentes, habrá que seleccionar los tres registros (*uno por cada componente*), teniendo cuidado en seleccionar el mismo día en las tres componentes. De la misma forma, indicar si así se requiera el número de traza o dejar el valor por defecto = 0.

Una vez realizado lo anterior, en el último paso (g), dar clic al botón “**Plot record**”. La salida de este proceso, estará compuesta por las gráficas de la señal original y la señal filtrada. Se puede realizar un acercamiento (zoom) en cualquier parte de las gráficas, ya sea en la original o en la filtrada, las gráficas están sincronizadas para adecuarse automáticamente y visualizar el mismo zoom en ambas. Posteriormente, se podrá guardar la gráfica resultante en cualquiera de los diversos formatos disponibles.

### 3.3.1.- Ejemplo de procedimiento de lectura para una componente.

A manera de ejemplo, se presentan el siguiente proceso de la interfaz con los elementos de salida para una componente.

#### a) Interfaz y salida gráfica para una componente.

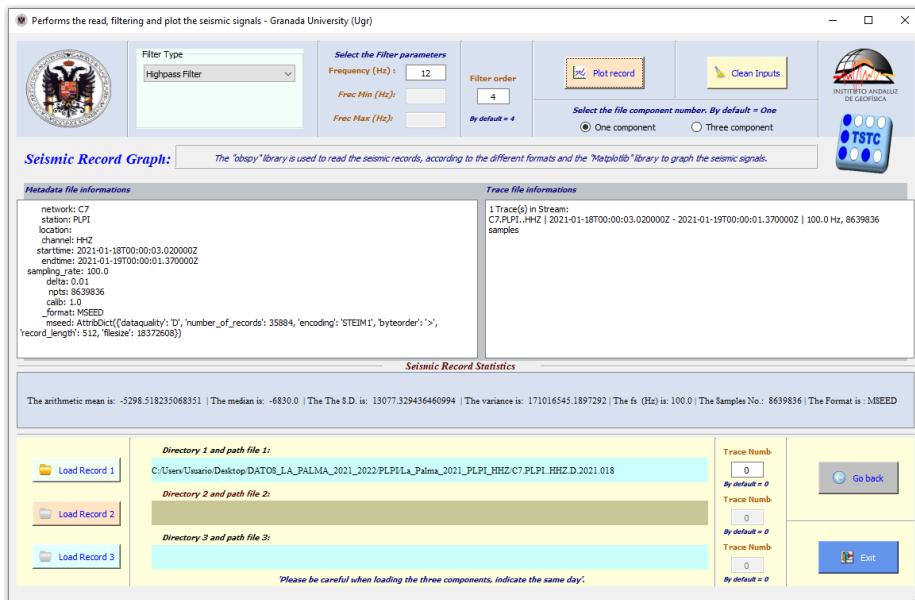


Fig. 24 Resultado de la selección de un registro con una componente (vertical), utilizando un filtro paso-alto de 12 Hz. Se ha dejado por defecto los valores de orden de filtro =4 y número de traza =0.

En la figura anterior, se observan los valores obtenidos al cargar el registro de una componente. Los parámetros de entrada utilizados son: Filtro paso-alto = 12 Hz, Orden de filtro = 4, Número de traza = 0. Estos dos últimos parámetros, son los valores por defecto. El usuario, solo ha introducido el dato de la selección del fichero o registro deseado y el tipo y valor del filtro. Se observan la información del “metadato” y de la traza del registro, que en este caso se compone de una sola, es decir del valor cero (*los valores de las trazas comienzan por cero*). También, se visualizan las estadísticas del registro. El registro es de un día de duración, lo que equivale a 86,400 muestras o segundos. La gráfica resultante es la siguiente.

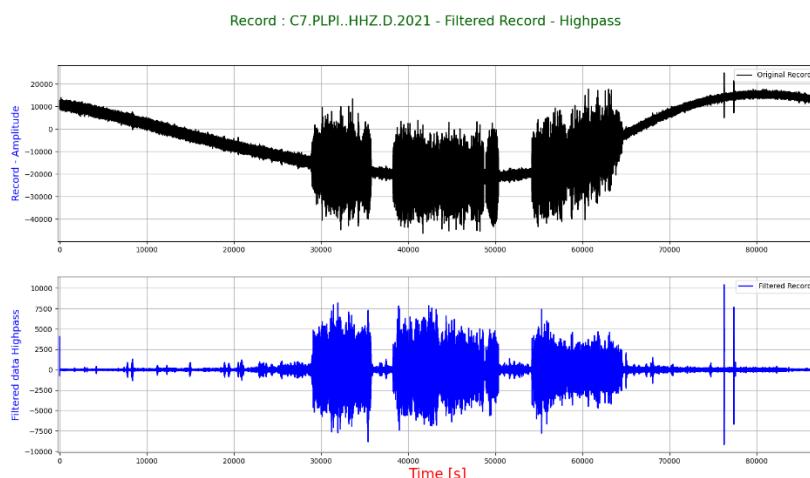


Fig. 25 Gráfica resultante del proceso anterior. Parte superior la señal original y parte inferior la señal filtrada.

### 3.3.2.- Ejemplo de procedimiento de lectura para tres componentes (*una y varias trazas*).

A manera de ejemplo, se presentan el siguiente proceso de la interfaz con los elementos de salida para tres componentes.

#### a) Interfaz y salida gráfica para tres componentes con una equivalente traza.

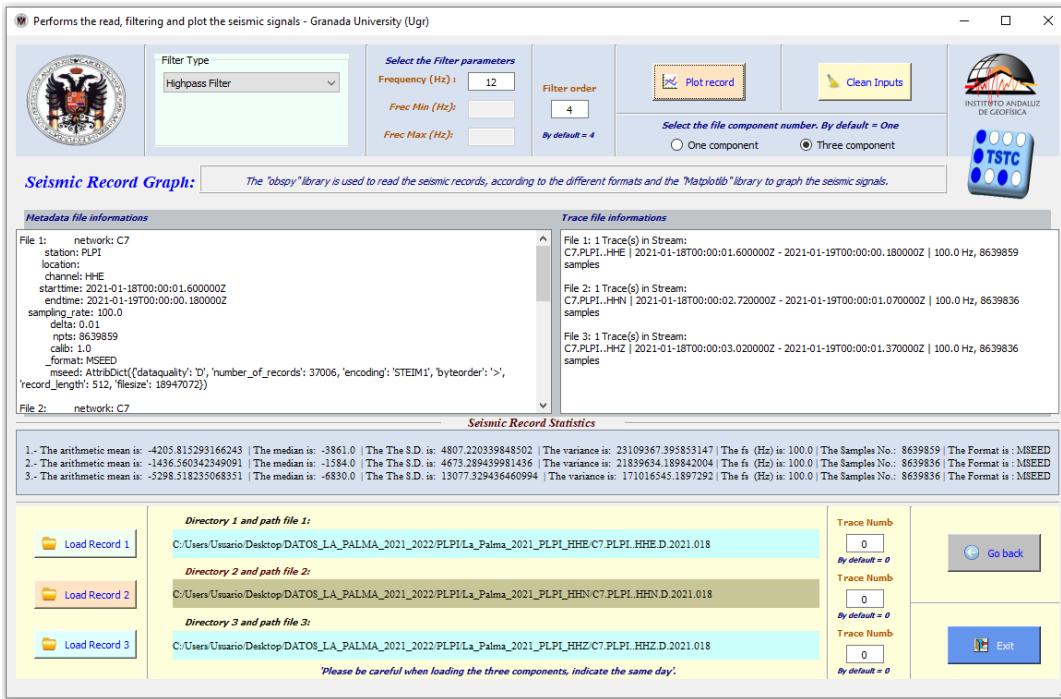


Fig. 26 Resultado de la selección de un registro con tres componentes (Este-Oeste, Norte-Sur y Vertical), utilizando un filtro paso-alto de 12 Hz. Se ha dejado por defecto los valores de orden de filtro =4 y número de traza =0.

En la figura anterior, el mismo registro del día 18 de enero, ha sido cargado en cada una de las componentes (HHE, HHN y HHZ). Se observan los valores correspondientes a cada registro en las áreas de metadatos, trazas y estadística. Los registros están compuestos por una sola traza, por lo que se determina utilizar el valor por defecto de cero. La gráfica resultante de este proceso es la siguiente.

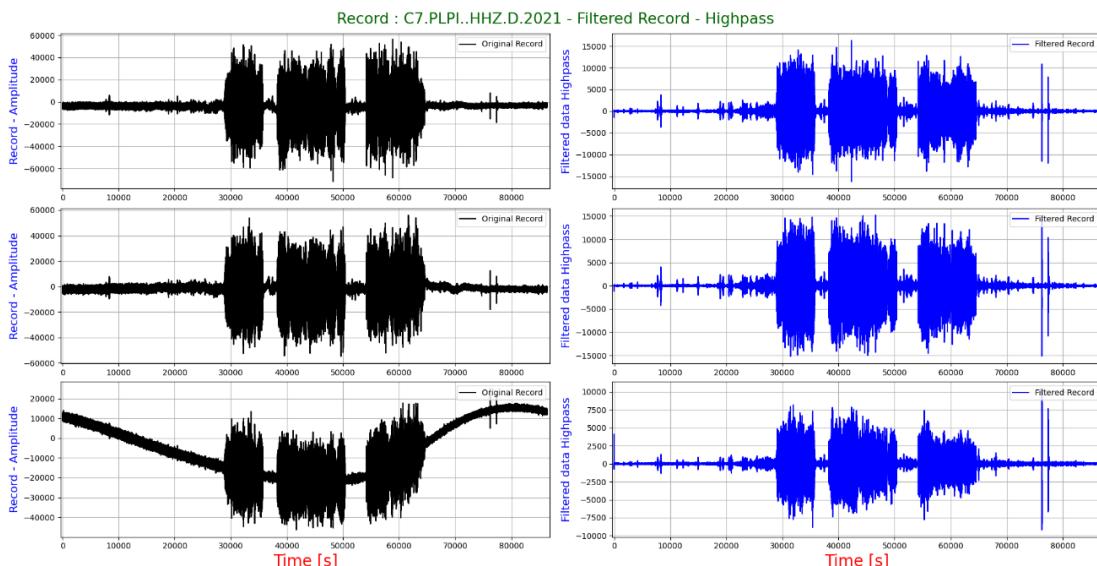


Fig. 27 Gráfica resultante del proceso anterior. Parte izquierda las señales originales de cada componente y a la derecha las señales filtradas de cada componente.

b) Interfaz y salida gráfica para tres componentes con varias y diferentes trazas.

En caso de tratarse de registros con más de una traza, el usuario debe decidir que traza de ellas elegir. Este es el caso del ejemplo siguiente, con un registro MSEED que se compone de varias trazas y en las que, en el mismo registro, se encuentran las tres componentes. Cada componente en diferente traza.

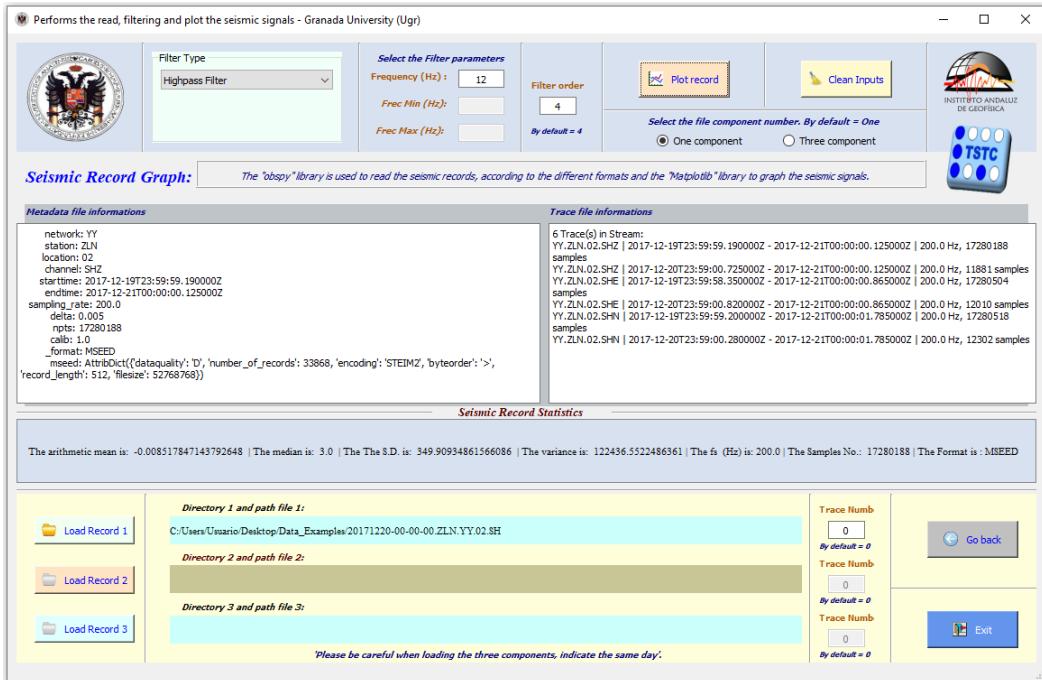


Fig. 28 Resultado de la selección de un registro con una componente, que presenta diferentes trazas, utilizando un filtro paso-alto de 12 Hz. Se ha dejado por defecto los valores de orden de filtro =4 y número de traza =0.

En la figura anterior, el mismo registro presenta más de una traza. Además, las tres componentes se encuentran incluidas en el mismo registro en diferente traza. Inicialmente, este resultado se ha presentado al analizar el registro con una componente, lo que daría por resultado las múltiples trazas. En este caso, es útil copiar y pegar la información de las trazas en un fichero de Excel, para realizar el conteo de que número de traza correspondería a la componente. Este ejemplo es sencillo, ya que solo dispone de seis trazas, pero en ocasiones existen registros con más de 70 trazas, por lo que analizarlos de esta forma resulta útil. Por lo tanto, en el ejemplo se ha cargado en cada casilla el mismo registro, pero indicando una traza diferente correspondiente a la componente adecuada. Las trazas **con mayor número de muestras (más información)** son: la (0) componente vertical, (2) componente este-oeste y (4) norte-sur. Esto se puede indicar fácilmente copiando las trazas y realizando una tabla en Excel que se muestra a continuación. Se han marcado el número de las trazas seleccionadas (0, 2 y 4, que corresponden a las componentes SHZ, SHE, SHN).

No. Traza	Registro
0	YY.ZLN.02.SHZ   2017-12-19T23:59:59.190000Z - 2017-12-21T00:00:00.125000Z   200.0 Hz, 17280188 samples
1	YY.ZLN.02.SHZ   2017-12-20T23:59:00.725000Z - 2017-12-21T00:00:00.125000Z   200.0 Hz, 11881 samples
2	YY.ZLN.02.SHE   2017-12-19T23:59:58.350000Z - 2017-12-21T00:00:00.865000Z   200.0 Hz, 17280504 samples
3	YY.ZLN.02.SHE   2017-12-20T23:59:00.820000Z - 2017-12-21T00:00:00.865000Z   200.0 Hz, 12010 samples
4	YY.ZLN.02.SHN   2017-12-19T23:59:59.200000Z - 2017-12-21T00:00:01.785000Z   200.0 Hz, 17280518 samples
5	YY.ZLN.02.SHN   2017-12-20T23:59:00.280000Z - 2017-12-21T00:00:01.785000Z   200.0 Hz, 12302 samples

Tabla 1 Número de Trazas del registro, que indica las tres componentes a las que pertenecen. Se encuentran marcadas las trazas (0, 2, 4) y componentes (SHZ, SHE, SHN), donde existe el mayor número de muestras, es decir, la mayor información del registro.

Lo anterior indica que se puede realizar el análisis del mismo registro, presentando las tres componentes, donde hay que indicar diferentes trazas en cada uno de los registros de cada componente (*Record 1 = 0, Record 2 = 2, Record 3 = 4*). Ahora, se determina un filtro paso-banda de 1 a 15 Hz, para mostrar las imágenes. La interfaz con la entrada de datos será la siguiente.

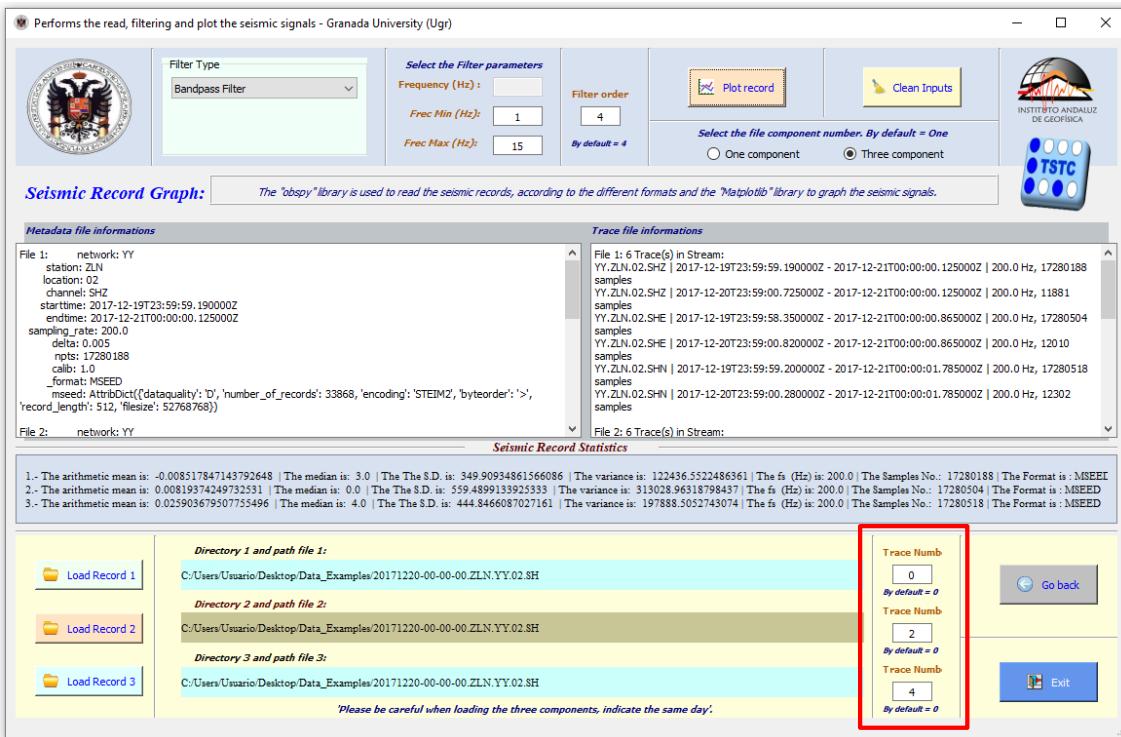


Fig. 29 Resultado de la selección de un registro con tres componentes (*Este-Oeste, Norte-Sur y Vertical*), que presenta diferentes trazas, utilizando un filtro paso-banda de 1 a 15 Hz. Se ha dejado por defecto los valores de orden de filtro =4 y se indica el número de traza en cada componente (**cuadro rojo**): Record 1 = 0, Record 2 = 2, Record 3 = 4.

De esta manera, las gráficas resultantes de este proceso de análisis son las siguientes.

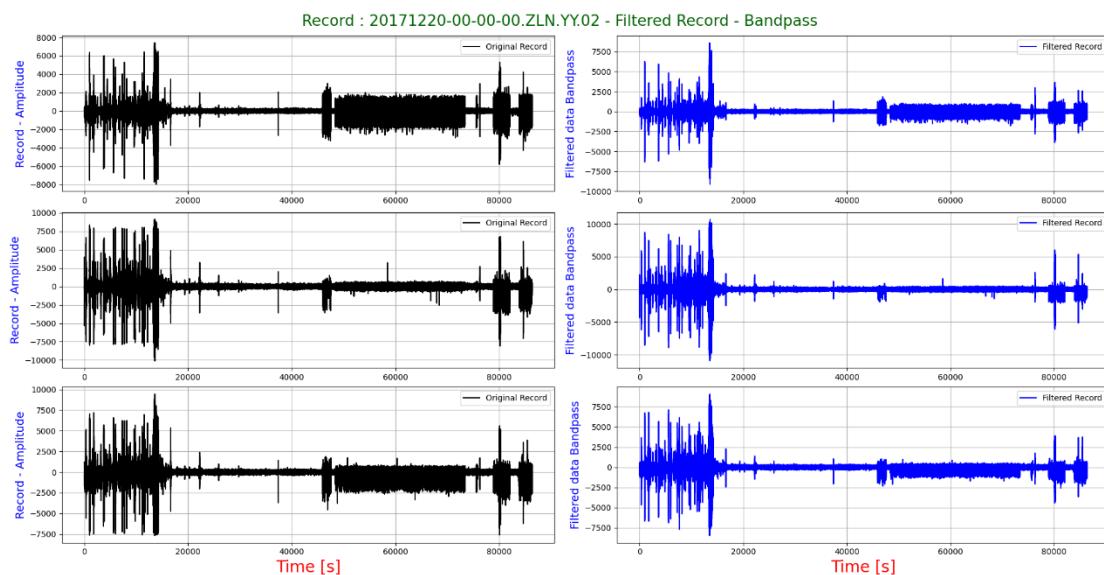


Fig. 30 Gráfica resultante del proceso anterior con tres componentes y diversas trazas y filtro paso-banda (1-15 Hz). Parte izquierda las señales originales de cada componente y a la derecha las señales filtradas de cada componente.

Para observar más detalladamente las imágenes resultantes, se puede hacer uso de la herramienta “**Lupa**” (*Cfr. Sección 6, punto 5*), que realizará un acercamiento (*ZOOM*) a la parte que el usuario más le interese, para poder observar más detalladamente los eventos presentes en las gráficas. Esto, se puede observar en la siguiente imagen.

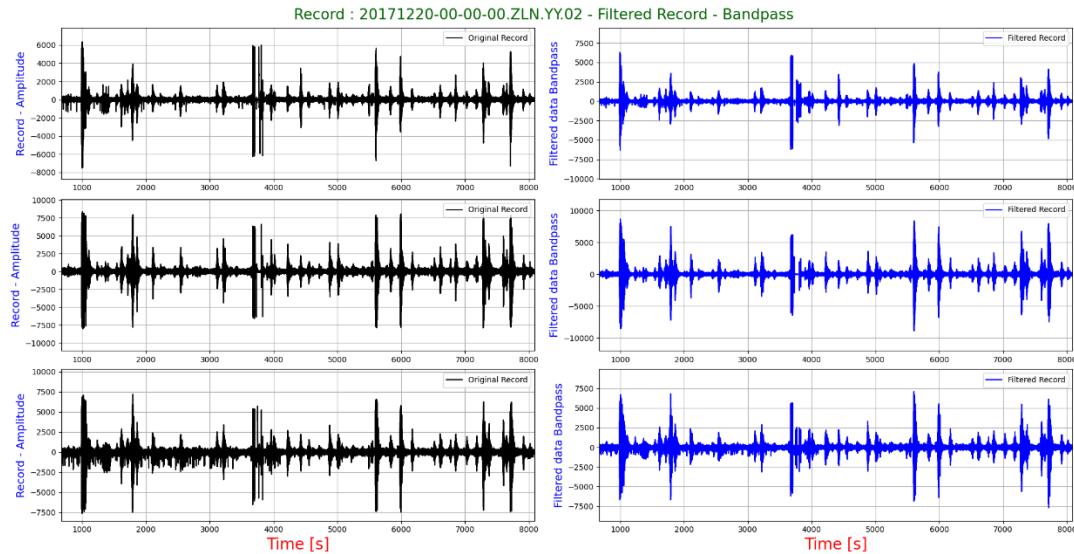


Fig. 31 ZOMM (1000-8000 segundos) de la Gráfica anterior (Fig. 30) resultante del proceso con tres componentes y diversas trazas. Parte izquierda las señales originales de cada componente y a la derecha las señales filtradas de cada componente.

Así, ir visualizando con mucho mayor detalle, y realizar un acercamiento a una zona determinada. Por ejemplo, la comprendida entre los valores 5600 y 6200 segundos, para observar los eventos sísmicos de dicha zona. El resultado es el siguiente.

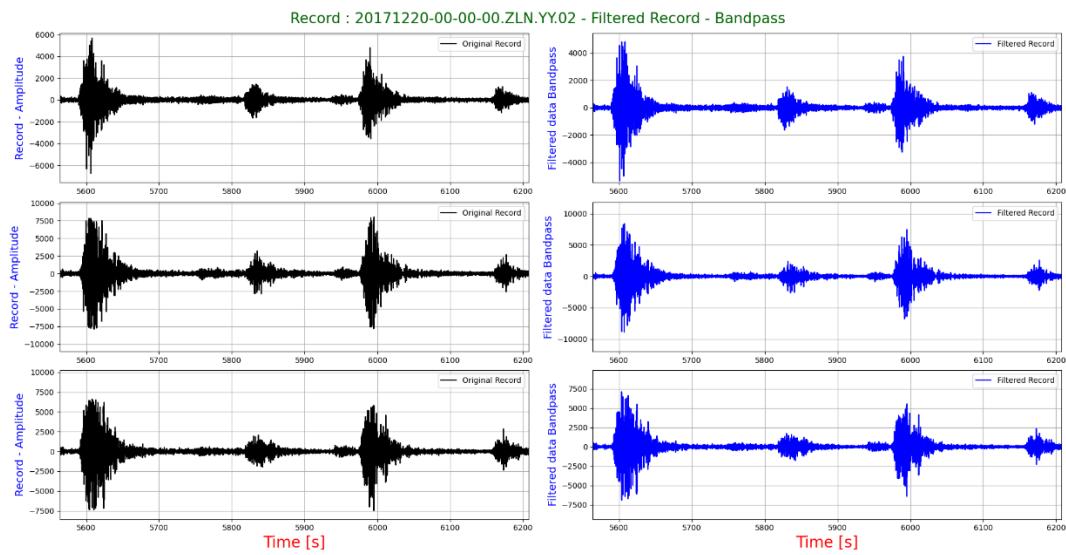


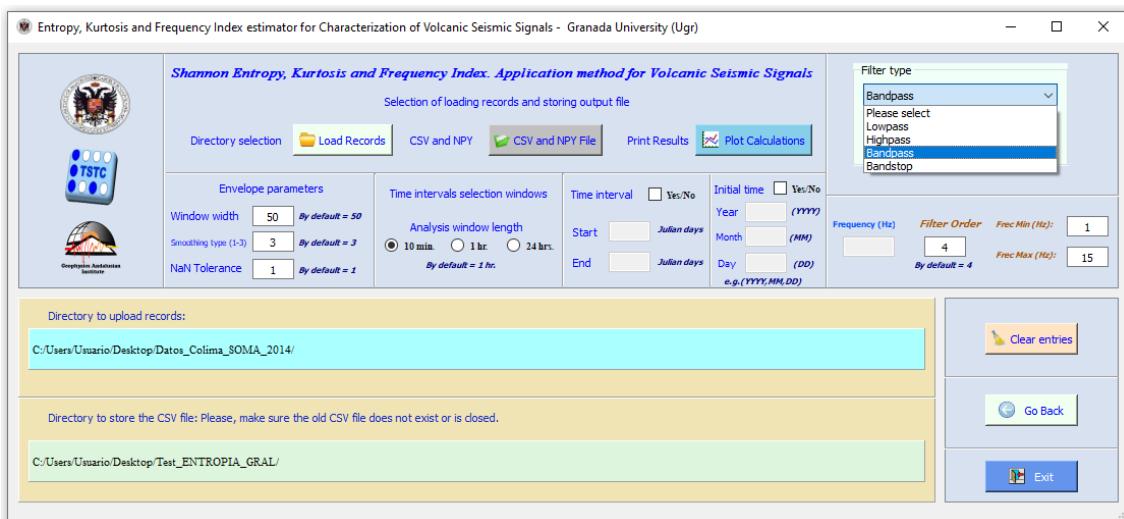
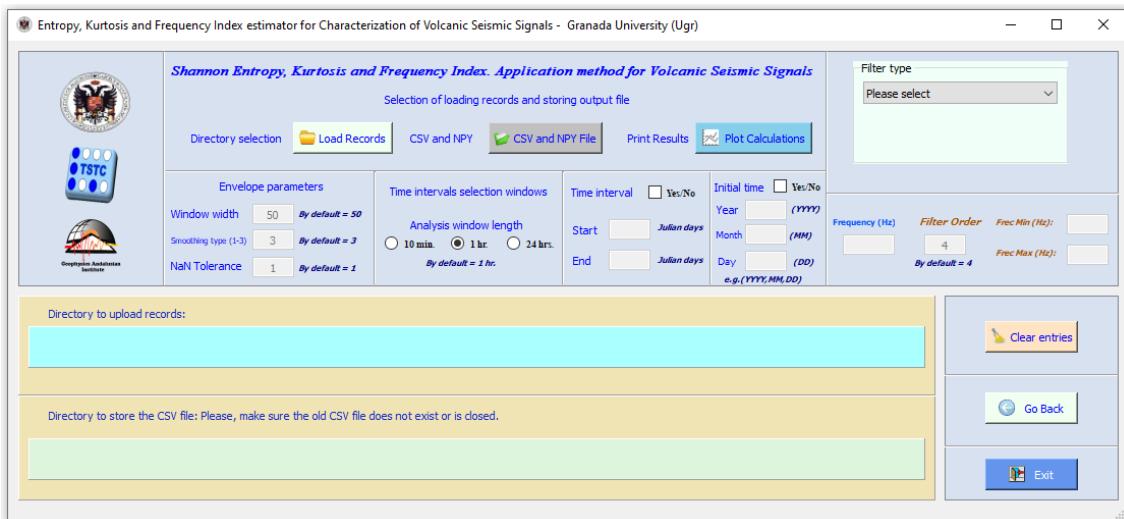
Fig. 32 ZOMM (5600-6200 segundos) de la Gráfica anterior (Fig. 30) resultante del proceso con tres componentes y diversas trazas. Parte izquierda las señales originales de cada componente y a la derecha las señales filtradas de cada componente.

**NOTA:** Al realizar el **ZOOM** en cualquier zona de una imagen, las restantes gráficas automáticamente se adecuan y se presenta el **ZOOM** de las tres componentes en la misma selección. Esto es útil para observar ya sea los cambios en una determinada franja de tiempo o llegadas de ondas P y S en las tres componentes al mismo tiempo.

[Regresar al Índice](#)

## MODULO II

### MÉTODO ESTIMADOR DE ENTROPÍA PARA CARACTERIZACIÓN DE SEÑALES SÍSMICAS.



#### 4.- Módulo de lectura, cálculo y gráfica de la Entropía de Shannon.

El módulo “[Entropy application method for Volcanic Seismic-signals](#)” ([Entropy1.py](#)), permite la lectura, el cálculo y gráficas de tres herramientas de análisis a) la Entropía de Shannon, b) la Kurtosis y c) el índice de Frecuencia, con sus respectivas envolventes. La lectura de registros en varios formatos, filtrado, cálculo da como resultado seis tipos de gráfica de este proceso que son:

- 1.- Gráfica de los valores de la entropía de Shannon, representada por puntos de duración.
- 2.- La entropía normalizada, representada por puntos de duración.
- 3.- Gráfica de la entropía con su envolvente ([mediante el cálculo de un filtro de mediana multidimensional](#)), representada por puntos de duración. A su vez, este cálculo se puede visualizar de diversas formas, mediante la modificación del parámetro del tamaño de la ventana de la envolvente.
- 4.- Gráfica que contiene únicamente la línea de la envolvente.
- 5.- Gráfica del índice de frecuencia con su envolvente
- 6.- Gráfica de la Kurtosis con su envolvente.

El objetivo de este segundo módulo, es realizar una lectura de registros contenidos en una carpeta de hasta un año de duración ([365 o 366 registros dependiendo si el año es bisiesto](#)). El módulo permite poder seleccionar intervalos de tiempo y mediante el uso de filtros, realizar los cálculos con diversas ventanas de análisis ([10 minutos, una hora y 24 horas](#)), en donde cada punto representa el valor de la ventana calculado. Es decir, puntos por: cada 10 minutos, una hora o 24 horas. Aplicando además, una envolvente. La envolvente puede asignar diferentes parámetros: a) Tamaño de ventana: ([50, 100, 200, 300, 700, etc.](#)), b) Tipo de suavizado ([1-3](#)) y c) Nan Tolerancia ([1 por defecto](#)). Entre mayor sea el valor de la envolvente, mayor será el espaciado del gráfico de dicha envolvente. Por lo que el usuario debe de decidir que valores determinar, para representar con mayor relevancia la suavidad de la envolvente. Adicionalmente, se crearán y almacenarán en una carpeta seleccionada por el usuario, dos ficheros de resultados.

- 1.- Fichero “[.CSV](#)” ([Valores separados por comas \[Comma Separated Values\]](#)), donde los datos se almacenan en un formato de estructura de tabla, que puede visualizarse en Excel. Aquí se almacenan los valores de la entropía de Shannon y la entropía normalizada, por días y horas en el intervalo seleccionado o en la totalidad de los registros ([001-365 en días julianos](#)).
- 2.- Fichero “[.NPY](#)” ([archivo de matriz NumPy que contienen un array donde se almacena toda la información de tipo y forma para reconstruir el array y poder graficar la señal](#)), del que a través de un sencillo programa, puede reproducirse en un instante, la gráfica de la entropía de Shannon calculada.

**NOTA Importante:** Al realizar el cálculo de la Entropía de Shannon, las gráficas pueden presentar puntos con valores muy altos o negativos ([producto de errores de lectura](#)), lo que presentará una gráfica con picos elevados o negativos (Cfr. Sección 4.3.3), para evitar esto. Hay que revisar a que días corresponden dichos puntos en el fichero de resultados CSV y eliminarlos de la base de datos, o la carpeta donde se analizan, para así repetir el proceso y que las gráficas resultantes sean uniformes.

La interfaz de este módulo con sus elementos principales se observa en la siguiente imagen:

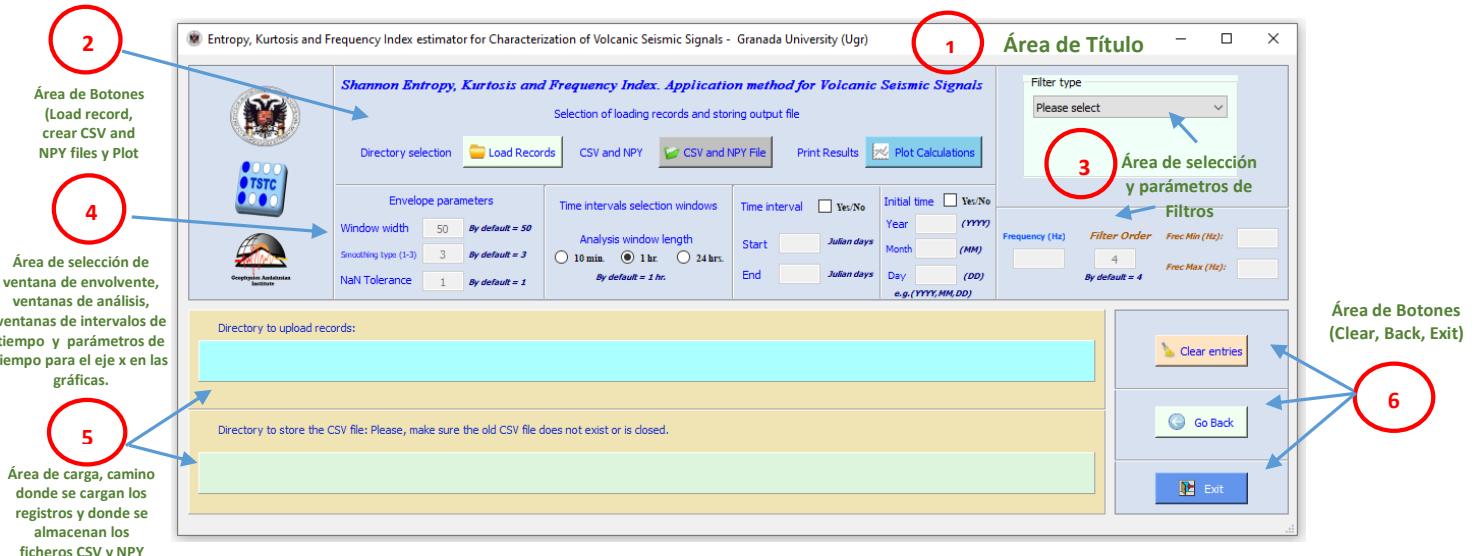


Fig. 33 Interfaz del módulo de lectura, filtrado, cálculo y gráfica de la entropía de Shannon y elementos que la componen.

Como se observa en la figura anterior, los elementos que componen esta interfaz son los siguientes:

- 1) Área de Título
- 2) Área de Botones de comando: (*Load record, crear CSV and NPY files y Plot Entropy*)
- 3) Área de selección y parámetros de filtros.
- 4) Área de Selección de parámetros:
  - 1.- La Envoltura a) Tamaño de ventana: (*50, 100, 200, 300, 700, etc.*) por defecto se determina el valor de una ventana de tamaño 50, b) Tipo de suavizado (*I-3*), por defecto se establece un valor de suavizado de 3 y c) Nan Tolerancia (*I por defecto*).
  - 2.- Selección del tamaño de la ventana de análisis. Por defecto el valor es de 50.
  - 3.- Selección de un determinado intervalo de tiempo para análisis de los registros (inicio – final). Establecido en días julianos.
  - 4.- Establecer un intervalo de tiempo (año, mes, día), para el eje x en las gráficas resultantes. El formato es en calendario gregoriano (*YYYY, MM, DD*)
- 5) Área de carga o camino (*Path*), donde se encuentran los registros y donde se almacenarán los ficheros de resultados CSV y NPY.
- 6) Área de Botones de comando: Limpiar, Regresar y Salir (*Clean, Go Back y Exit*).

#### 4.1.- Elementos del Módulo de lectura, cálculo y gráfica de la Entropía de Shannon.

Los elementos que integran la pantalla principal se detallan a continuación.

##### 4.1.1.- Área de Título.

1

Se indica en la parte superior de la pantalla de la interfaz del módulo. En ella se observa; Nombre del programa, ícono y nombre de la Universidad como título (1).



Además del área de título (*número 1*), se observan los diversos componentes de la interfaz, que se enumeran del (2-6) en los **círculos rojos**. Se describirá ahora, cada uno de estos elementos que integran dicha pantalla:

##### 4.1.2.- Área de Botones de comando: (Load record, crear CSV and NPY files y Plot Entropy)

2



Fig. 34 Área de Botones de comando: (a) Load record, (b) crear CSV and NPY files y (c) Plot Entropy

En la figura anterior, la función de los botones de comando que se observan es:

- a) Botón “*Load records*” (*Cargar registros*): carga el camino físico “**Path**”, de la carpeta donde se encuentran los registros a trabajar. Cuando se coloca el puntero del ratón sobre él, presenta el texto de la acción a realizar “*Load Records*”.



Al dar clic al botón, se presenta una ventana de diálogo de Windows, que permite al usuario seleccionar la carpeta en donde se encuentran los registros con los que se quiere trabajar. La ventana de diálogo es similar a la siguiente.

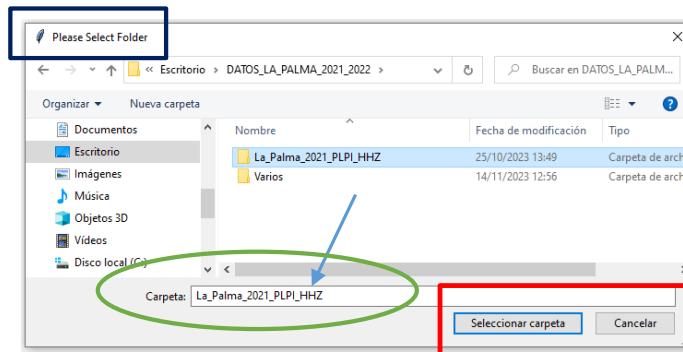


Fig. 35 Ventana de diálogo para seleccionar la carpeta donde se encuentran los registros a trabajar.

Como se observa en la imagen anterior, en la parte superior (*cuadro azul*) se indica al usuario que seleccione la carpeta a trabajar “*Please Select Folder*”. En la parte inferior, (*cuadro rojo*) se observan los dos botones de acción y una vez seleccionada la carpeta se podrán utilizar (“*Seleccionar carpeta*” y “*Cancelar*”). Al dar clic a “*Seleccionar carpeta*”, el nombre de la carpeta elegida, que se observa con la flecha en color azul, se presenta en el área de “*Carpeta*” (*elipse de color verde*), la dirección o camino “*Path*” se presenta en la sección de carga (Cfr. Sección 4.1.5). En caso de no designar dicha carpeta, se da clic al botón de “*Cancelar*” y la acción continúa en la interfaz principal para elegir una nueva carpeta.

- b) Botón “CSV and NPY File” (*Guardar archivos CSV y NPY*): carga el camino físico “*Path*”, de la carpeta seleccionada por el usuario en donde se almacenarán los ficheros de resultados “*CSV*” y “*NPY*”.



Al dar clic al botón, se presenta una ventana de diálogo de Windows (*similar al paso anterior*), que permite al usuario seleccionar la carpeta en donde se almacenarán los dos ficheros “*CSV*” y “*NPY*” resultantes del proceso de cálculo de la Entropía de Shannon. La ventana es similar a la de la figura 35. Donde se indica seleccionar la carpeta. De la misma forma que en el paso anterior, la dirección o camino “*Path*” se presenta en la sección de carga (Cfr. Sección 4.1.5).

**NOTA:** **Importante**, debe de estar cerrado o no existir cualquier archivo CSV previo, de lo contrario se presentará un error.

- c) Botón “Plot Entropy” (*Graficar Entropía*): al dar clic a este botón, se procede a realizar el cálculo y obtener los seis resultados gráficos de la Entropía de Shannon y su envolvente. Además, se guardan los ficheros de resultados “*CSV*” y “*NPY*” en la carpeta seleccionada.



**NOTA:** Previamente, se deben de introducir los parámetros: a) Camino (Path), tanto del directorio de los datos, como el directorio de guardar ficheros (CSV y NPY), b) El tipo de filtro con sus parámetros de entrada (tamaño de ventana de análisis y envolvente) y c) Activar e introducir entradas, en caso de realizar un intervalo. Al dar clic al botón, si existe algún error de entrada, se visualiza una ventana de diálogo que lo indica. (Cfr. Sección 4.2 - Mensajes de validación), se procede entonces a realizar el cálculo de la Entropía de Shannon, visualizar los cuatro resultados gráficos y guardar los dos ficheros resultantes en la carpeta seleccionada previamente.

#### 4.1.3.- Área de selección y parámetros de filtros.

3

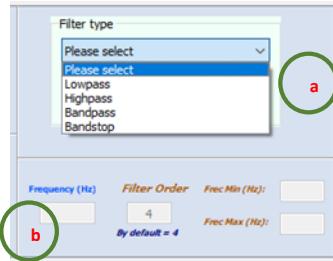
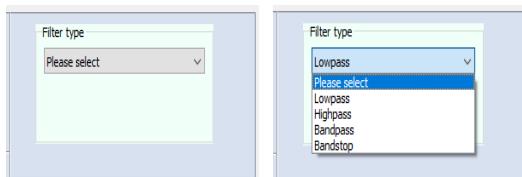


Fig. 36 Área de Selección y parámetros de filtros: Parte superior-> (a) Selección del tipo de Filtro (*Lowpass*, *Highpass*, *Bandpass*, *Bandstop*). Parte inferior -> (b) Parámetros de filtros (*Frecuencia*, *Orden del Filtro*, *Frecuencia mínima*, *Frecuencia Máxima*).

En la figura anterior, marcados con los círculos verdes se presentan las dos partes de esta área que se definen de la siguiente forma:

##### a) Área de selección del tipo de filtro.



En la imagen anterior, la parte izquierda presenta como inicialmente se indica al usuario que realice o seleccione el tipo de filtro que desea utilizar. Al dar clic a este desplegado (*ComboBox*), se presentan las opciones disponibles de filtros que son: Paso-bajo (*Lowpass*<sup>1</sup>), paso-alto (*Highpass*<sup>2</sup>), paso-banda (*Bandpass*<sup>3</sup>) y detiene-banda (*Bandstop*<sup>4</sup>)

**NOTA:** Por defecto, el botón de comando del cálculo y presentación de resultados de la entropía de Shannon (*Plot Entropy*), se encuentra desactivado. Este botón se activa una vez que se ha realizado la selección del tipo de filtro por parte del usuario.

##### b) Área de selección e introducción de los parámetros del filtro.



Fig. 37 Área de Selección de parámetros de filtros: (1) Parámetro de frecuencia (Hz), (2) Parámetro de orden de filtro (por defecto = 4), (3) Parámetro de frecuencia mínima y frecuencia máxima (Hz).

- 1) Parámetro de Frecuencia (Hz): Esta casilla se activa al seleccionar los tipos de filtros; Paso-bajo (*Lowpass*) y Paso-alto (*Highpass*). En esta selección, las casillas de frecuencia mínima y frecuencia máxima permanecen desactivadas. Las entradas en esta casilla están validadas para permitir números decimales.

<sup>1</sup> El filtro Paso-bajo bloquea las señales de alta frecuencia y deja pasar las de baja frecuencia (frecuencias inferiores a la frecuencia de corte).

<sup>2</sup> El filtro Paso-alto bloquea las señales de baja frecuencia y deja pasar las de alta frecuencia (frecuencias superiores a la frecuencia de corte).

<sup>3</sup> El filtro Paso-banda deja pasar el contenido espectral sólo en un entorno de la frecuencia central. Esta ventana es creada a través de un valor de frecuencia mínimo y un valor de frecuencia máximo. Elimina el ruido asociado a bajas y altas frecuencias generadas (y/o residuales).

<sup>4</sup> El filtro Detiene-banda no permite el paso de señales cuyas frecuencias se encuentran comprendidas entre las frecuencias de corte superior e inferior. Es decir, elimina frecuencias o detiene una banda de frecuencias en particular.

- 2) Parámetro de orden de filtro: Por defecto este parámetro se encuentra determinado en un valor de cuatro (4) al inicio. Esta casilla de entrada se activa al seleccionar cualquiera de los cuatro tipos de filtros disponibles. Permitiendo al usuario, poder introducir un valor (*valido*) diferente de orden de filtro (2, 6, 8, 12 etc.). La entrada en esta casilla se encuentra validada para aceptar únicamente números enteros de dos cifras.



- 3) Parámetros de Frecuencia mínima y Frecuencia Máxima (Hz): Estas dos casillas de texto se activan al seleccionar los tipos de filtro; Paso-banda (*Bandpass*) y Detiene-banda (*Bandstop*). En esta selección, se desactiva la casilla de entrada de Frecuencia (Hz). Las entradas de estas dos casillas están validadas para permitir números decimales.

**NOTA:** En la imagen anterior, todas las casillas de introducción de datos que se observan, por defecto al inicio, se encuentran desactivadas. Asimismo, están validadas para que solo se pueda introducir en ellas únicamente números y no caracteres alfabéticos o letras. El valor de las cantidades a introducir, estarán centradas en los cuadros de texto.

#### 4.1.4.- Área de selección de intervalos, ventanas de análisis y ventana de envolvente.

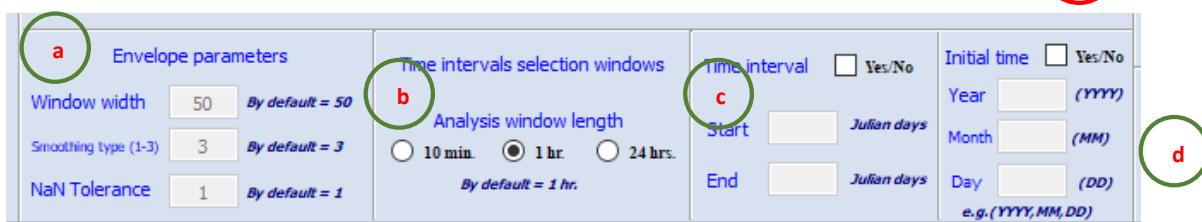


Fig. 38 Área de Selección de intervalos, ventanas de análisis y ventana de envolvente: (a) Selección de los parámetros de la envolvente (b) Selección del tamaño de la ventana de análisis (10 minutos, 1 hora y 24 horas, por defecto se encuentra determinado en 1 hora). (c) Selección de intervalo de tiempo. Estos cuadros de texto se encuentran desactivados, al marcar la casilla (Yes/No), denota que se desea realizar un intervalo de tiempo "YES", por defecto está en blanco lo que indica "NO" (Se introducen el día inicial y el día final que se deseé en días julianos). (d) Selección del intervalo de tiempo inicial para representar en el eje x (se indica en días gregorianos con formato YYYY, MM, DD).

En la figura anterior, marcadas con círculos verdes, se observan las cuatro secciones que comprenden esta área que son:

- a) Selección de los parámetros de la envolvente:



En este recuadro se introduce los valores de parámetros de la envolvente, indicados en tres entradas que son:

- i) Tamaño de la ventana (por defecto se encuentra determinado en 50),
- ii) Tipo de suavizado (por defecto se encuentra en 3),
- iii) Tolerancia a valores nulos NaN (por defecto se encuentra en 1).

**NOTA:** El usuario, al seleccionar la carpeta de datos a trabajar, se incluye el número de datos, incluso cuando el número de registros sea menor a 365. Esto solo indica el número máximo de datos con el que se va a trabajar. En caso que se desee trabajar con un número menor, por ejemplo, un mes. La opción más fácil y viable es utilizar el intervalo de tiempo y ahí indicarlo en el apartado (c), dejando este valor por defecto para representar el tamaño máximo a analizar.

Un ejemplo del análisis con diversos tamaños de ventana, para observar el suavizado de la envolvente, se observa en la figura 41.

b) Selección de la ventana de análisis.

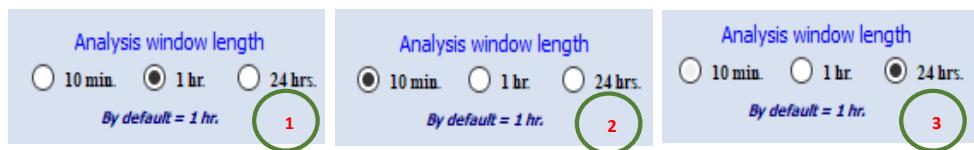


Fig. 39 Indicar por parte del usuario, el tamaño de ventana de análisis: (1) Ventana de 1 hora, (2) Ventana de 10 minutos, (3) Ventana de 24 horas de duración.

En este recuadro se selecciona la ventana de análisis que se desea para aplicar a los datos: (*10 minutos, 1 hora y 24 horas*). La entrada en esta casilla se encuentra por defecto seleccionada a una hora. El usuario puede seleccionar al inicio cualquiera de los tamaños de ventana al dar clic en el área indicada. Así en la imagen anterior, se observa como el usuario en el punto (1) ha seleccionado trabajar con ventanas de una hora o el valor por defecto, en el punto (2) con ventanas de 10 minutos y en el punto (3) con ventanas de 24 horas. La validación de esta sección indica que, al dar clic a un determinado valor, se selecciona dicho punto y los otros dos restantes se desactivan.

c) Selección del intervalo de tiempo.

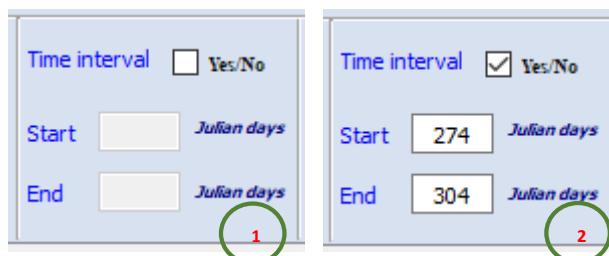


Fig. 40 Indicar por parte del usuario si se va a utilizar un intervalo de tiempo para analizar los datos: (1) Posición inicial, valor vacío en la casilla “Yes/No”, lo que indica un valor “NO” (2) Marcada la casilla “Yes/No”, lo que indica un valor “YES”, con lo que se activan al seleccionar el filtro las casillas de texto “Start” y “End”, para introducir las fechas en días julianos.

En el cuadro anterior, se observa que la parte (1) se encuentra con los valores iniciales por defecto. Es decir (**no seleccionado**), que NO se desea utilizar el intervalo de tiempo y los cuadros de texto que indican las entradas de fecha (*Inicial* y *Final*) en días julianos están desactivadas. En la parte (2), se ha seleccionado o marcado la casilla “*Yes/No*”, lo que indica que se SI se desea utilizar el intervalo de tiempo. Para ello, también hay que seleccionar el tipo de filtro, lo que activa las casillas de texto de fechas de inicio (*Start*) y Fin (*End*), expresadas en días julianos. En el ejemplo que se muestra en la figura, se han introducidos como fechas de inicio y fin los valores (274-304) respectivamente, lo que significa, que se va a analizar los registros del mes de “octubre” de un año no bisiesto (2014, 2015, 2017, 2019, 2021, 2023, etc.). La entrada de datos en estas casillas se encuentra validada para aceptar únicamente números (*válidos*) enteros (*tres cifras*), posicionados en el centro del recuadro.

d) Selección del intervalo de tiempo inicial para representar en el eje x.

El cuadro de la derecha, indica el tamaño de la ventana de la envolvente (*mediante el cálculo de un filtro de mediana multidimensional*) para el cálculo. Por defecto, su valor se encuentra determinado en 50. Sin embargo, el usuario puede asignar el valor que deseé. Un ejemplo de la comparativa de gráficas, que muestran los valores de la envolvente para diversos tamaños, se muestra en la figura de la siguiente página.



[Regresar al Índice](#)

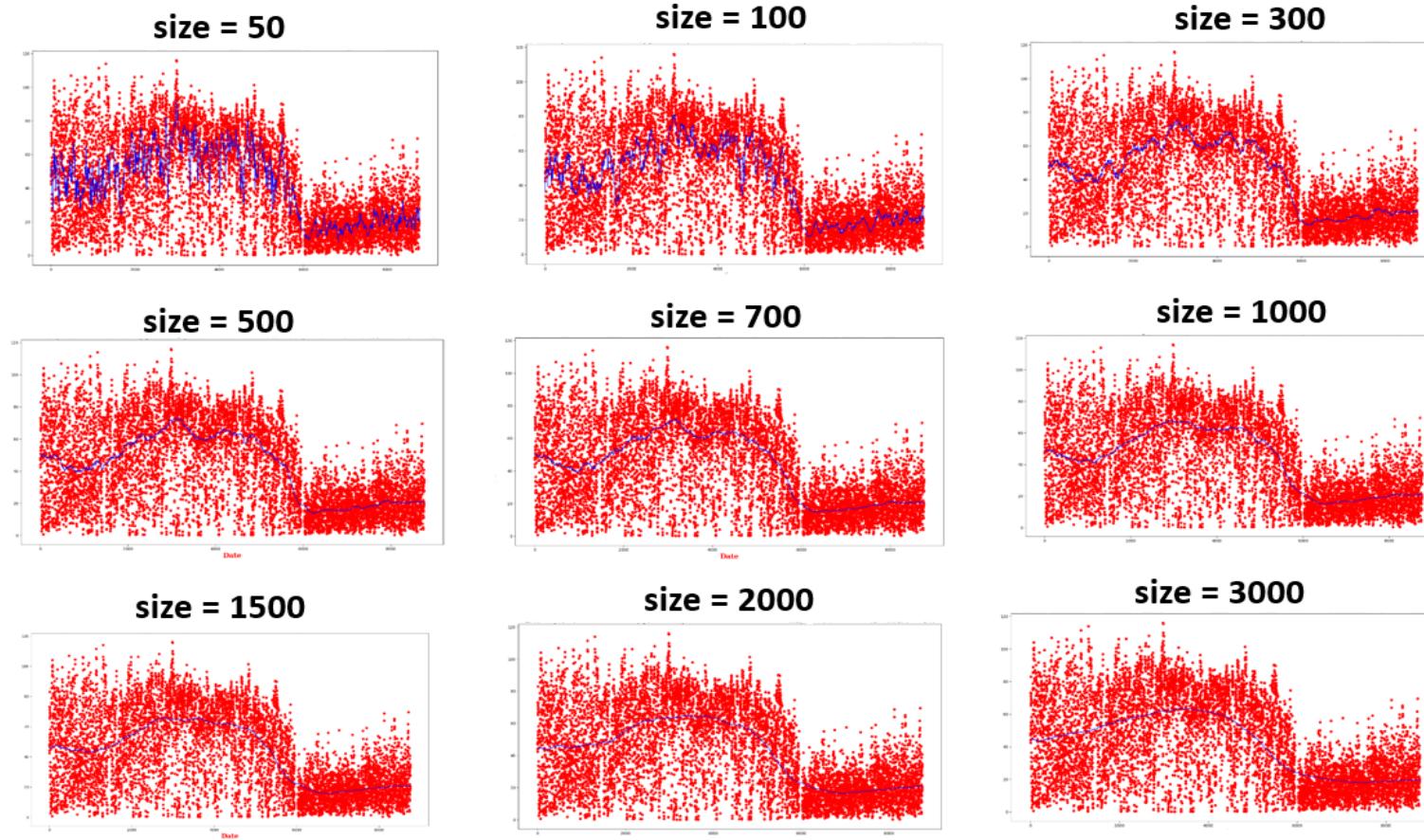


Fig. 41 Ejemplo de la comparativa de gráficas durante un año de registros, donde se muestran diversos tipos de tamaño de la ventana de la envolvente: (50, 100, 300, 500, 700, 1000, 1500, 2000 y 3000).

En la figura anterior, se presenta los resultados correspondientes a un año de registros, donde se observa que la línea de la envolvente. A mayor tamaño, más suaviza su pendiente. Sin embargo, el usuario debe valorar y decidir, cuál tamaño podrá utilizar de acuerdo a los resultados que espera obtener. Un mayor tamaño de ventana, suaviza mucho más la pendiente de la envolvente, pero implica que también, podrán presentarse diversos picos o saltos de la envolvente en partes de la señal, dependiendo del número de registros presentes en un determinado año.

#### 4.1.5.- Área de carga o camino (**Path**), donde se encuentran los registros y donde se almacenarán los ficheros de resultados CSV y NPY.

5

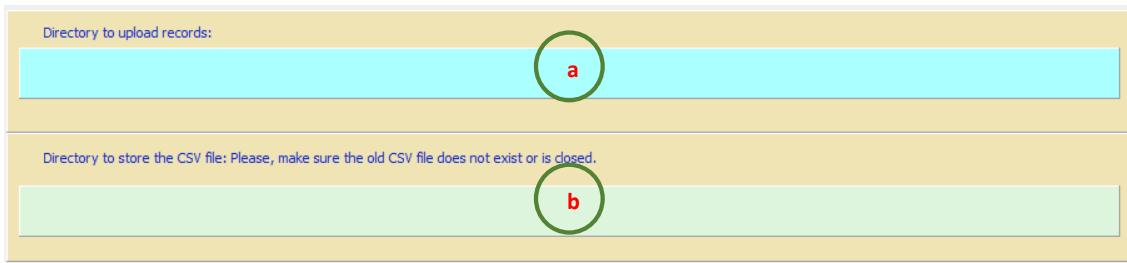


Fig. 42 Área de carga o camino (**Path**), de los directorios: (a) Directorio donde se cargan los registros, (b) Directorio donde se almacenarán los ficheros de resultado “CSV” y “NPY”.

En esta imagen anterior, se presentan las dos áreas en donde se va a visualizar el camino de los directorios o carpetas donde se realizarán las acciones de los botones de comandos: “[Load Records](#)” y “[CSV and NPY File](#)”, descritos en la sección 4.1.2.

- a) Área de camino (**Path**), donde se visualizará la ruta del directorio en el que se encuentran almacenados los registros a trabajar.
- b) Área de camino (**Path**), donde se visualizará la ruta o directorio en el que se almacenarán o guardarán los ficheros de resultados “CSV” y “NPY”.

**NOTA 1:** Importante, debe de estar cerrado o no existir cualquier archivo CSV previo, de lo contrario se presentará un error.

**NOTA 2:** Es importante que estas dos áreas, se encuentren ya previamente definidas antes de proceder a dar clic o ejecutar el botón de comando “[Plot Entropy](#)” (Cfr. Sección 4.2, punto (c)) que realizará el cálculo, la impresión y los resultados de la Entropía de Shannon y su envolvente, de acuerdo a los datos que se encuentren indicados en la ruta o directorio a trabajar. En caso contrario se presentarán ventanas de dialogo de validación de datos (Cfr. Sección 4.2).

#### 4.1.6.- Área de Botones de comando: Limpiar, Regresar y Salir ([Clean](#), [Go Back](#) y [Exit](#)).

6



Fig. 43 Área de Botones de comando: (a) Clear entries, (b) Go Back y (c) Exit.

En la figura anterior, la función de los botones de comando que se observan es:

- a) Botón “***Clean entries*** (*Limpiar entradas*)”: Limpia o borra los elementos de entrada, además de cerrar los gráficos existentes y dejar la pantalla de análisis como al inicio, preparada para una nueva búsqueda y un nuevo cálculo de la Entropía de Shannon con los eventos sísmicos. (*Se observan el texto que presenta el botón al poner el cursor sobre él*).



Se introduce una validación en la ejecución de este botón y para prevenir cualquier borrado accidental que el usuario realizará con los parámetros de entrada. Al dar clic en dicho botón, se presenta una ventana de dialogo, que pregunta al usuario si realmente desea borrar las entradas que ha realizado. Esta ventana es la siguiente.

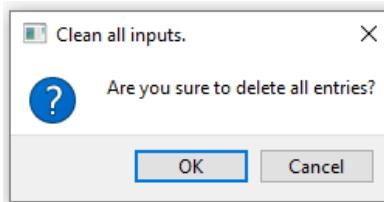


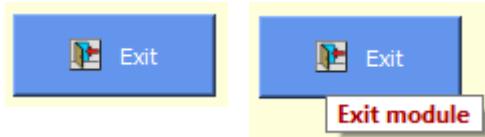
Fig. 44 Ventana de dialogo de verificación del borrado de entradas por parte del usuario.

Como se observa en la figura, en caso de que se desee realmente borrar las entradas, se da clic al botón de “***OK***”, con lo que todas las entradas se eliminarán y la pantalla de la interfaz del módulo presentará los valores iniciales (*con las casillas desactivadas*). En caso contrario, si por algún error o descuido se había pulsado el botón de limpieza y el usuario no desea esto, se da clic al botón de “***Cancel***” y la ejecución retornará nuevamente a la pantalla de la interfaz.

- b) Botón “***Go Back***” (*Atrás*): Permite regresar a la pantalla inicial de presentación del sistema (*Menú principal*). Al colocar el puntero del ratón, exhibe un mensaje que indica su función.



- c) Botón “***Exit***” (*Salida*): Permite la salida completa del módulo y sistema (*Previa presentación de la pantalla que pregunta si se desea abandonar el módulo y sistema*). Al colocar el puntero del ratón, exhibe un mensaje que indica su función.



De la misma forma que en la pantalla de inicio, si se pulsa o da clic al botón de “***Exit***”, se presenta una ventana que pregunta al usuario, si está seguro de abandonar el módulo y sistema. Esta ventana es la siguiente.

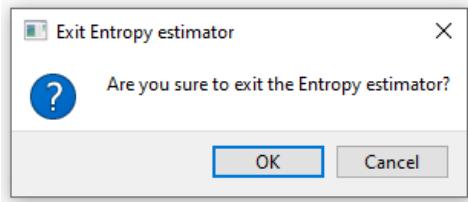


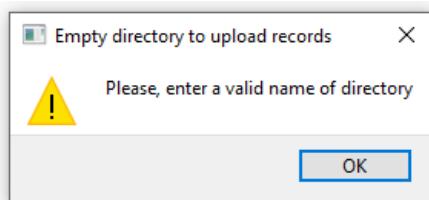
Fig. 45 Caja de texto que indica si se desea salir del módulo y sistema

Al dar clic a “OK”, se cierra la pantalla y se completa la salida del módulo y sistema. “Cancel” continúa en la pantalla de cálculo de la Entropía de Shannon.

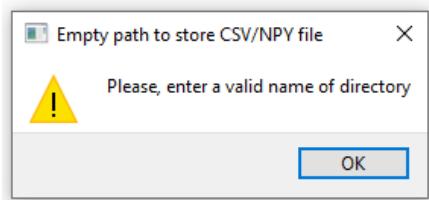
#### 4.2.- Validación de errores en registro o entradas.

En caso de que se quiera calcular y graficar la Entropía de Shannon, es decir, dar clic al botón de “Plot Entropy” (Graficar Entropía), sin introducir datos en cualquiera de las casillas o cuadros de texto de entradas de datos que se requieran, se presentará una validación, lo cual visualiza una caja de diálogo, que indica que se ha de realizar dicha acción y corregir los errores de entrada. Además, estas cajas de diálogo, permiten que la ejecución del programa siga su curso, sin que haya una interrupción severa del sistema por falta de datos. Las validaciones de entradas incorrectas son las siguientes:

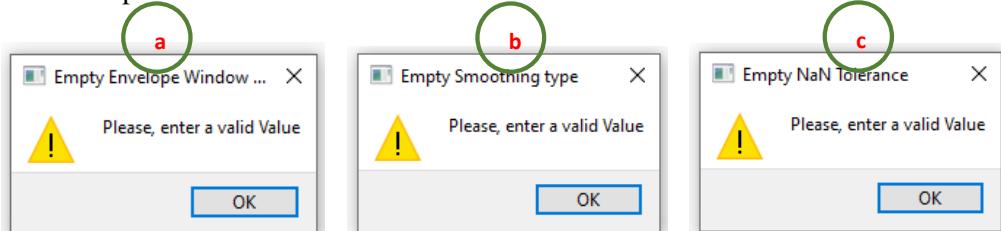
- a) Validación para entrada de datos – Área de directorio de registros vacía.



- b) Validación para entrada de datos – Área de directorio de ficheros “CSV” y “NPY” vacía.



- c) Validación para entrada de datos – Parámetros de la Envoltiente.



(a) Valor del Tamaño de la envolvente vacío. (b) Valor del suavizado vacío. (c) Valor de la tolerancia a NaN vacío.

- d) Validación para entrada de datos – Intervalo de tiempo inicial y Final vacío.



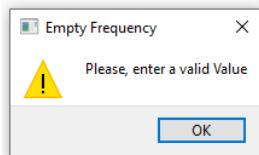
(a) Valor del intervalo de tiempo inicial vacío. (b) Valor del intervalo de tiempo final vacío.

- e) Validación para entrada de datos – Intervalo de tiempo inicial para el eje x.

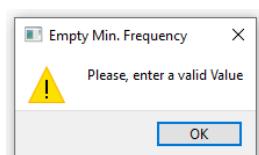


(a) Valor del Año vacío. (b) Valor del Mes vacío. (c) Valor Día vacío.

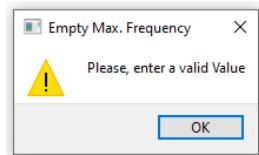
- f) Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia vacío.



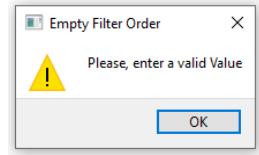
- g) Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Mínima vacío.



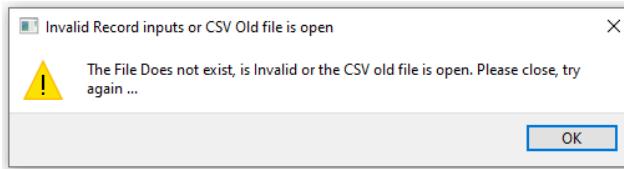
- h) Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Máxima vacío.



- i) Validación para entrada de datos – Valor de Orden de Filtro vacío.



- j) Validación en caso de ocurrir otro error de entrada diferente a los anteriores, archivo no existente, inválido o archivo CSV abierto.



De acuerdo al mensaje de la figura anterior, se ha producido un error debido a que no se reconoce el formato es inválido, el registro no existe o el fichero CSV anterior se encuentra abierto. Además, puede que también los parámetros o entradas se encuentren fuera del rango permitido de acuerdo a la señal que se va a analizar. Al pulsar el botón de “**OK**” se retorna de nuevo al sistema, para elegir un archivo válido o corregir las entradas erróneas o cerrar el fichero CSV y repetir el proceso. De esta forma, continua la ejecución del programa sin presentar problemas.

#### **4.3.- Proceso de ejecución y resultados del módulo de lectura, cálculo y gráfica de la Entropía de Shannon.**

El proceso para realizar la carga de los registros, el filtrado y las gráficas de la Entropía (*original y normalizada*) y su envolvente es muy sencillo, consta de los siguientes pasos (*Se recomienda seguir estos pasos*):

- a) Seleccionar el directorio donde se encuentran los registros, mediante clic al botón “**Load Record**”. Por defecto, la ruta inicial se encuentra en el directorio raíz “C” del PC”, ya sean en el sistema Windows o Linux). Una vez seleccionado, dar clic al botón “**Abrir**” (se visualiza el registro ruta del archivo en el área: (*Directory to upload records - Cfr. 4.1.5.*)).
- b) Seleccionar el directorio donde se van a almacenar los ficheros de resultados “CSV” y “NPY”, mediante clic al botón “**CSV and NPY File**”. Por defecto, la ruta inicial se encuentra en el directorio raíz “C” del PC”, ya sean en el sistema Windows o Linux). Una vez seleccionado, dar clic al botón “**Abrir**” (se visualiza el registro ruta del archivo en el área: (*Directory to store the CSV File - Cfr. 4.1.5.*)). Recordar que **no debe** estar abierto a la vez otro fichero CSV similar.
- c) Seleccionar el tipo de filtro (*Paso-bajo, Paso-Alto, Paso-banda o Detiene-Banda*). Esto activará las casillas de entrada de parámetros, en base a la selección indicada.
- d) Seleccionar el tamaño de la ventana de análisis (*por defecto se indica tamaño de una hora*).
- e) Seleccionar los parámetros de la Envoltura o dejar el valor por defecto = (50, 3, 1)
- f) (OPCIONAL) Seleccionar o marcar la casilla (*si así es requerido*), de analizar un determinado intervalo de tiempo. En caso positivo, indicar en las casillas: “**Start**” el tiempo en días julianos de inicio y en la casilla de “**End**” el tiempo en días julianos final.
- g) Dar las entradas de los parámetros del filtro de acuerdo al tipo seleccionado.  
Para los filtros paso-bajo y paso-alto, introducir un valor válido de “*frecuencia*”. Para los filtros de Pasobanda y Detiene-banda, introducir valores válidos de “*frecuencia mínima*” y “*frecuencia máxima*”.
- h) Dar entrada (*si así es requerido*), al orden de filtro o dejar el valor por defecto = 4.
- i) (OPCIONAL) Seleccionar o marcar la casilla (*si así es requerido*), de seleccionar un determinado intervalo de tiempo inicial (Año, mes, día) para valores del eje x. En caso positivo, indicar en las casillas: “**YYYY, MM, DD**” el tiempo en días gregorianos de inicio.
- j) Finalmente, dar clic al botón de “**Plot Entropy**”, para realizar el cálculo de la Entropía de Shannon, se presentan las cuatro gráficas y se almacenan los dos ficheros resultantes en la carpeta designada.

Como se ha indicado en el último paso. Una vez realizado lo anterior, dar clic al botón “**Plot record**”. La salida de este proceso, estará compuesta por las seis gráficas (*Entropía de Shannon, Entropía Normalizada de Shannon, Entropía de Shannon con envolvente, Gráfica de solo envolvente, Índice de Frecuencia con envolvente y Kurtosis con envolvente*). Cuando se presenten las gráficas, se puede realizar un zoom (*Mediante la herramienta “Lupa (punto 5)”- Cfr. Sección 6*), en cualquier parte de ellas, para así observar con mucho mayor detalle el recorrido a lo largo del tiempo de la entropía. Los ficheros resultantes (CSV y NPY), podrán ser consultados en la carpeta que el usuario previamente ha seleccionado para almacenarlos.

#### 4.3.1.- Ejemplo de procedimiento de cálculo de la Entropía de Shannon con ventana de análisis de 1 hora.

A manera de ejemplo, se presentan el siguiente proceso de la interfaz con los elementos, para un análisis de los registros sísmicos de un año (2014). Los parámetros de salida del cálculo de las herramientas (*Entropía de Shannon, Índice de Frecuencia y Kurtosis*) con sus respectivas envolventes, designando una ventana de análisis de una hora de duración (*por Defecto*). Es decir, cada punto equivale a una hora.

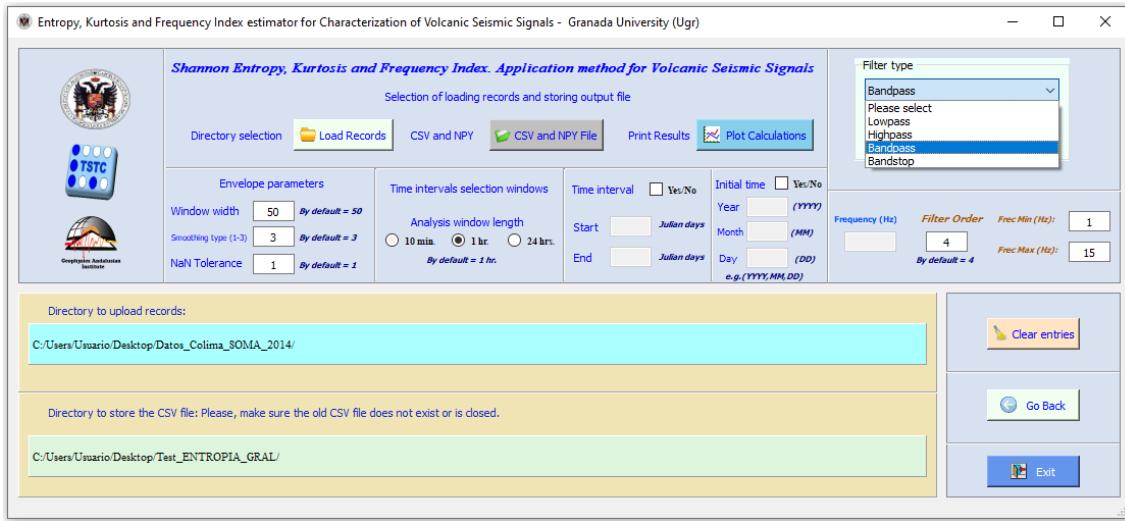


Fig. 46 Interfaz del módulo de cálculo de la Entropía de Shannon, Kurtosis, Índice de frecuencia y sus envolventes, con los datos seleccionados para una ventana de análisis de una hora, ventana de envolvente de tamaño 50, tipo de suavizado 3, Tolerancia Nan con el valor por defecto = 1 y asignando un filtro paso-banda de 1 a 15 Hz.

En la figura anterior, se observan los valores obtenidos al cargar los registros de un año de duración (*No se utiliza el campo de intervalo de tiempo*). Los parámetros de entrada utilizados son:

- Parámetros de la envolvente (*Valores por defecto: 50, 3, 1*).
- Ventana de análisis a utilizar = una hora (*Valor por defecto*).
- Intervalo de tiempo (No se designa).
- Intervalo inicial de tiempo para el eje x (No se designa)
- Tipo de Filtro = Paso-banda (1 – 15 Hz).
- Orden del filtro. Se deja el valor por defecto = 4

Como se observa, el proceso es sumamente sencillo. Aquí el usuario, solamente ha tenido que designar:

- La carpeta donde se encuentran los datos,
- La carpeta donde se van a almacenar los dos ficheros de resultados,
- El tipo de filtro.
- Los parámetros de la envolvente (o dejar por defecto los valores propuestos).
- Los parámetros del filtro.

\* Los restantes valores de entrada son los que se presentan por defecto.

Seguidamente, se da clic al botón “*Plot Entropy*”, se procede al cálculo y la presentación de resultados. Las seis gráficas de resultados (*con un Zoom incluido entre el intervalo de puntos 5000 y 6200*) que se obtienen a partir de este procedimiento, se observan en la siguiente página y son las siguientes:

- a) Izquierda: Gráfica del Cálculo de la Entropía de Shannon. Derecha: Acercamiento (ZOOM) de un área específica (5000 a 6200 puntos).

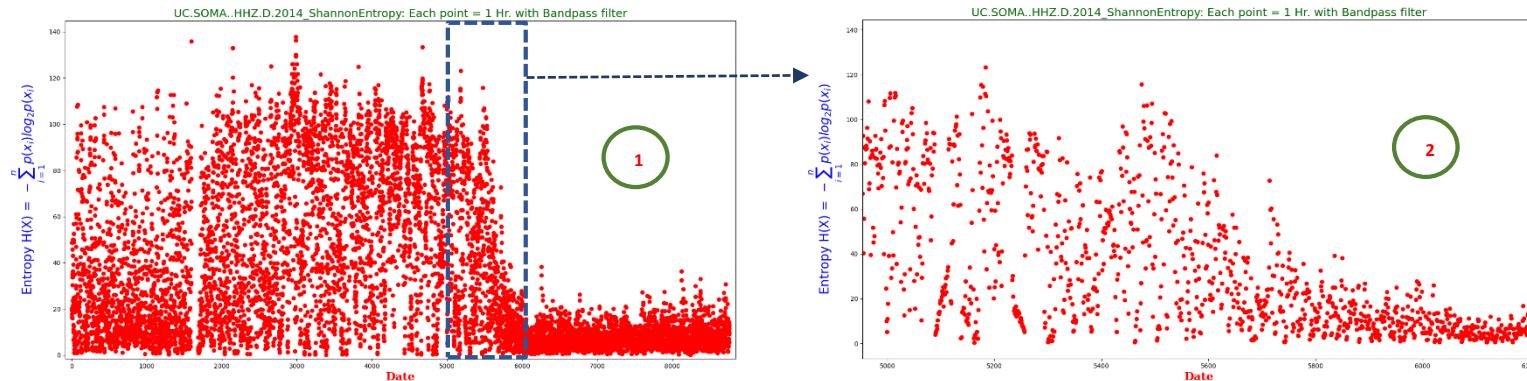


Fig. 47 (1) Gráfica de resultados del cálculo de la Entropía de Shannon. (2) ZOOM del área punteada en azul, que comprende un intervalo de 5000 a 6200 puntos.

- b) Izquierda: Gráfica del Cálculo de la Entropía de Shannon normalizada. Derecha: Acercamiento (ZOOM) de un área específica (5000 a 6200 puntos).

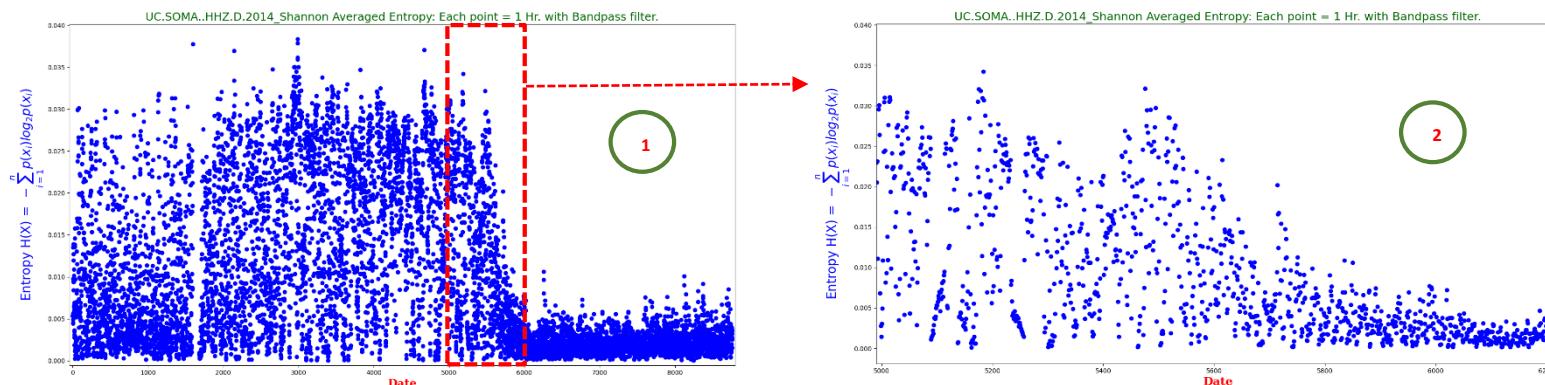


Fig. 48 (1) Gráfica de resultados del cálculo de la Entropía Normalizada de Shannon. (2) ZOOM del área punteada en rojo, que comprende un intervalo de 5000 a 6200 puntos.

- c) Izquierda: Gráfica del Cálculo de la Entropía de Shannon y su envolvente. Derecha: Acercamiento (ZOOM) de un área específica (5000 a 6200 puntos). Los picos presentes son determinados en su mayor parte por medio de enjambres sísmicos.

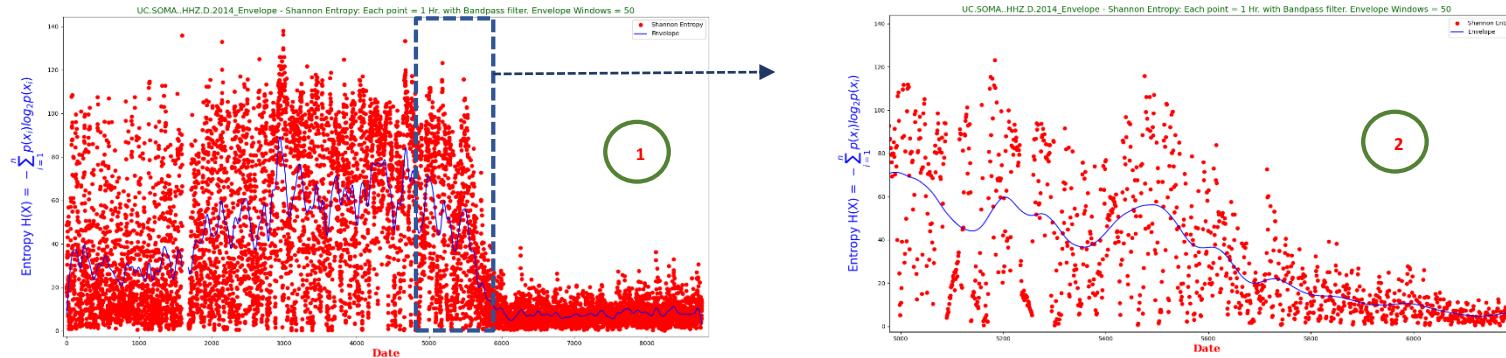


Fig. 49 (1) Gráfica de resultados del cálculo de la Entropía de Shannon y su envolvente. (2) ZOOM del área punteada en azul, que comprende un intervalo de 5000 a 6200 puntos.

- d) Izquierda: Gráfica de la representación de solamente la envolvente de la Entropía de Shannon. Derecha: Acercamiento (ZOOM) de un área específica (5000 a 6200 puntos).

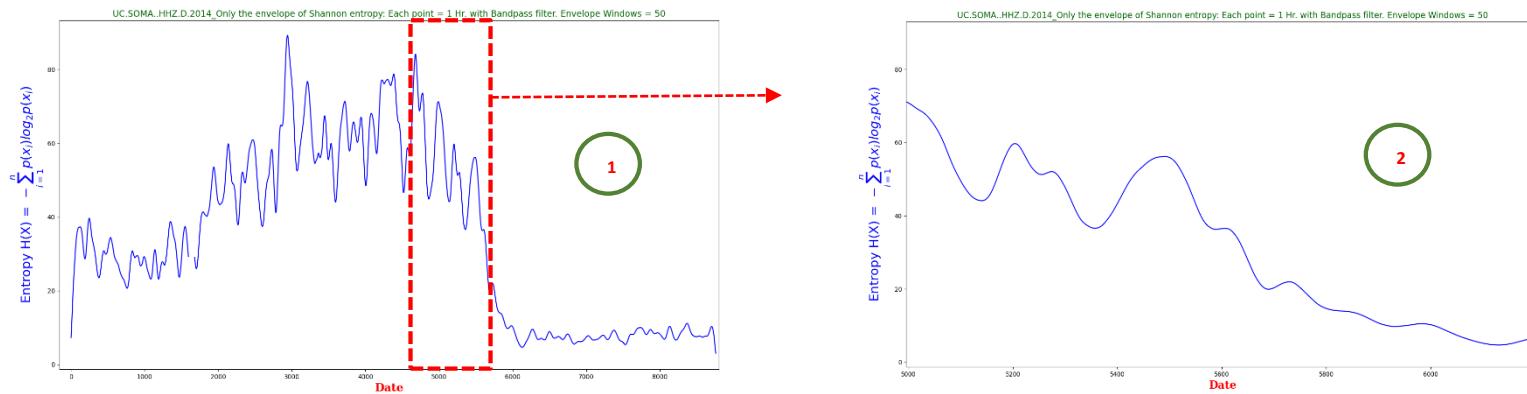


Fig. 50 (1) Gráfica de resultados del cálculo de solamente la envolvente de la Entropía de Shannon y su envolvente. (2) ZOOM del área punteada en rojo, que comprende un intervalo de 5000 a 6200 puntos.

- e) Izquierda: Gráfica del Cálculo del Índice de frecuencia y su envolvente. Derecha: Acercamiento (ZOOM) de un área específica (5000 a 6200 puntos). Los picos presentes son determinados en su mayor parte por medio de enjambres sísmicos.

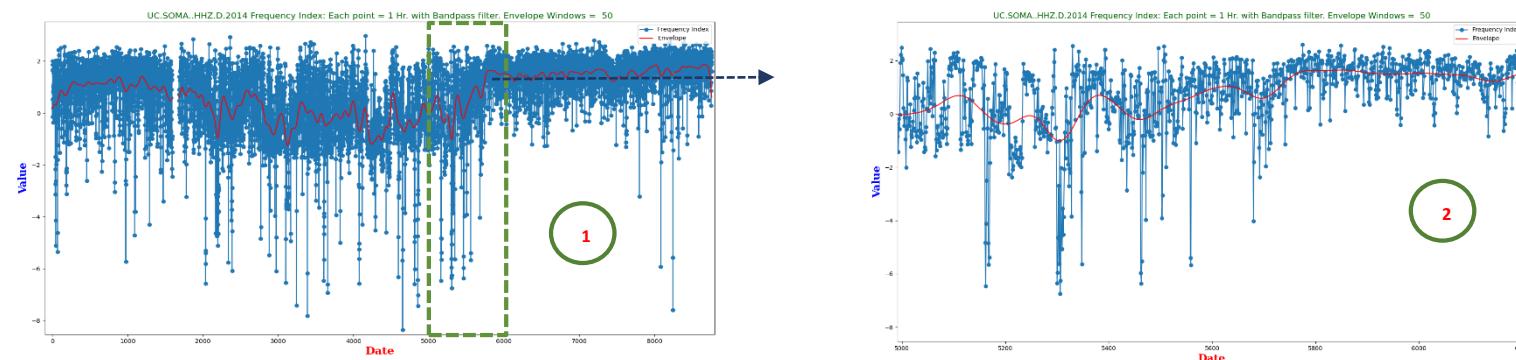


Fig. 51 (1) Gráfica de resultados del cálculo del Índice de Frecuencia y su envolvente. (2) ZOOM del área punteada en verde, que comprende un intervalo de 5000 a 6200 puntos.

- f) Izquierda: Gráfica de la representación de la Kurtosis con la envolvente. Derecha: Acercamiento (ZOOM) de un área específica (5000 a 6200 puntos).

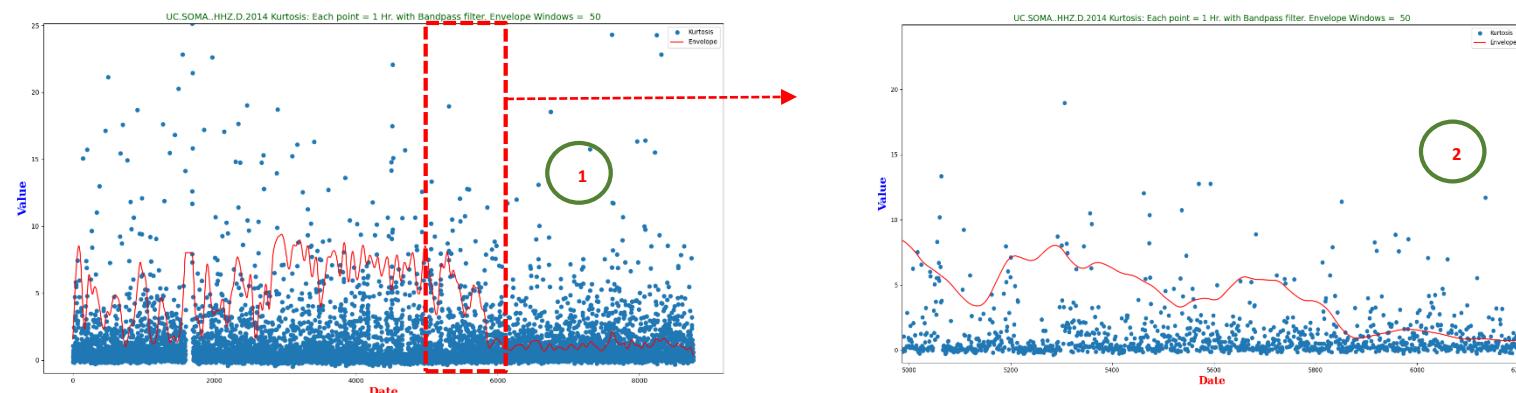


Fig. 52 (1) Gráfica de resultados del cálculo de la Kurtosis y su envolvente. (2) ZOOM del área punteada en rojo, que comprende un intervalo de 5000 a 6200 puntos

Las figuras anteriores (47 a 52), representan la salida gráfica de un ejemplo del cálculo de la Entropía de Shannon con registros de un año de duración, utilizando ventanas de análisis de una hora. Los análisis se pueden realizar, utilizando ventanas de análisis de 10 minutos, 1 hora y 24 horas, con los cuatro filtros disponibles (*Lowpass*, *Highpass*, *Bandpass* y *Bandstop*). Una comparación de este análisis, se observó en la figura 59 al final de esta sección. (Cfr. Fig. 59 Pág. 47). De forma similar, se pueden realizar cálculos mediante intervalos de análisis (*por ejemplo, de un mes de duración, Cfr. Sección 4.1.4 punto c*), utilizando los mismos parámetros anteriormente indicados (*ventanas de análisis y tipos de filtros*).

4.3.2.- Ficheros de resultados “CSV” y NPY almacenados en la carpeta asignada por el usuario.

El proceso de cálculo del módulo proporciona además dos ficheros de resultados, obtenidos mediante el proceso de cálculo de la Entropía de Shannon y almacenados en la carpeta que el usuario ha designado para tal propósito, representan:

- Fichero “CSV” (separado por comas), que puede ser abierto y consultado en una hoja de Excel. Los puntos totales para 365 días son 8760 (*calculados en Excel*). Un ejemplo de este fichero y su contenido se presenta a continuación en la siguiente tabla (*En la tabla se observan los puntos del 1 a 24, que corresponden al mes de enero*).

Esta Columna entre llaves, es un valor obtenido de una fórmula de Excel. (=A1+1) y copiada a toda la columna desde el segundo valor, hasta el último de los 365 días. Así se obtienen cada punto, desde el 1 hasta el 8760. Corresponden a 24 puntos por cada día, un punto por cada hora.

	day, hour, ShannonEntropy, ShannonAveragedEntropy
1	1,0,19,242592538535742,0,0053451645940377065
2	1,1,48,599766085210646,0,013499935023669625
3	1,2,17,771415781754314,0,004936504383820642
4	1,3,20,33907819990658,0,00564974394418494
5	1,4,16,388535923103717,0,0045523710897510325
6	1,5,16,048066879367568,0,00445779635537988
7	1,6,35,05629693399813,0,009737860259443924
8	1,7,34,09144537157257,0,009469845936547936
9	1,8,33,796642741378946,0,009387956317049707
10	1,9,30,338870637390666,0,008427464065941852
11	1,10,45,82693239056356,0,012729703441682321
12	1,11,43,05404981588691,0,01195945828219081
13	1,12,49,96734888704295,0,01387981913528971
14	1,13,36,40665227252762,0,010112958964591006
15	1,14,33,88328344223024,0,009412023178397289
16	1,15,21,43065353888248,0,005952959316356245
17	1,16,23,762730167393677,0,006600758379831577
18	1,17,39,28352352662353,0,010912089868506537
19	1,18,23,004567281315932,0,006390157578143314
20	1,19,13,07593141541339,0,0036322031709481637
21	1,20,6,6917577191751105,0,001858821588659753
22	1,21,9,946347158747585,0,002762874210763218
23	1,22,11,2045520534347,0,0031123755703985276
24	1,23,12,432288855412256,0,003453413570947849

Tabla 2. Ejemplo del fichero de resultados “CSV” obtenido mediante el proceso del cálculo de la Entropía de Shannon. La información: (*Días, horas, Valor de la Entropía de Shannon, Valor de la Entropía normalizada de Shannon*), se encuentran separadas por comas. El ejemplo indica los valores del día uno, desde la hora 0 a la 23 (*que corresponden a los puntos 1 a 24*). El total del valor del fichero CSV, incluye 365 días analizados. Aquí, cada punto corresponde a una ventana de análisis de una hora.

**NOTA Importante:** Al realizar el cálculo de la Entropía de Shannon, las gráficas pueden presentar puntos con valores muy altos o negativos (producto de errores de lectura), lo que presentará una gráfica con picos elevados o negativos, para evitar esto. Hay que revisar a qué días corresponden dichos puntos en el fichero de resultados CSV y eliminarlos de la base de datos, o la carpeta donde se analizan, para así repetir el proceso y que las gráficas resultantes sean uniformes (Cfr. Sección siguiente 4.3.3).

- Fichero “. NPY” (*archivo de matriz NumPy que contienen un array donde se almacena toda la información de tipo y forma para reconstruir el array y poder graficar la señal*), del que, a través de un sencillo programa, puede reproducirse en un instante, la gráfica de la entropía de Shannon calculada sin volver a realizar todo el proceso.

#### 4.3.3.- Puntos con valores muy altos o negativos en las gráficas del cálculo de la Entropía de Shannon.

En ocasiones, en la gráfica resultante se presentan valores muy altos o negativos en el cálculo de la entropía, lo que podría tratarse de segmentos con error, al almacenarse la información de datos en el sensor. Esto se puede observar en las siguientes figuras.

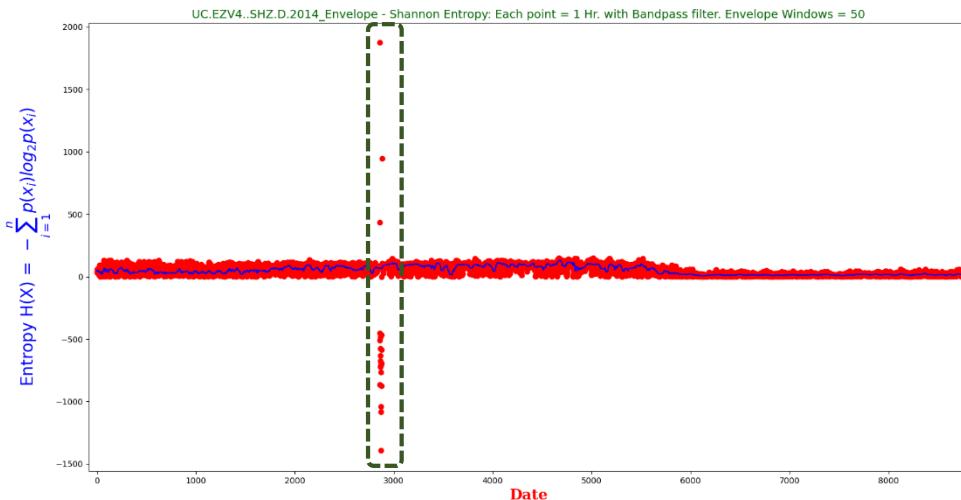


Fig. 53 Gráfica del cálculo de la Entropía de Shannon, en el que se observan en el recuadro punteado en color verde, puntos con valores por encima de 500 y puntos negativos.

Como se observa en la figura anterior, se pueden visualizar varios puntos con valores superiores a 500 y también puntos con valores negativos. Al realizar un acercamiento a esta imagen, se pueden observar con mucho más detalle dichos valores.

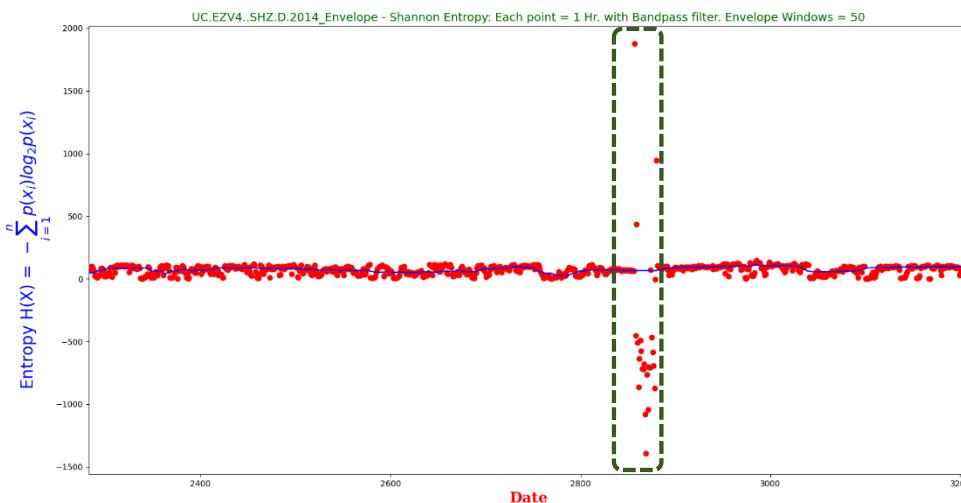


Fig. 54 Acercamiento (ZOOM) a la Gráfica del cálculo de la Entropía de Shannon, se observan en el recuadro punteado en color verde, puntos con valores por encima de 500, cercanos a 2000 y puntos negativos, cercanos a (-1500).

Estos puntos, se encuentran fuera del parámetro del rango deseado de la entropía. Un mayor acercamiento puede mostrar los valores en los que se encuentran dichos puntos. Se observa en la siguiente imagen.

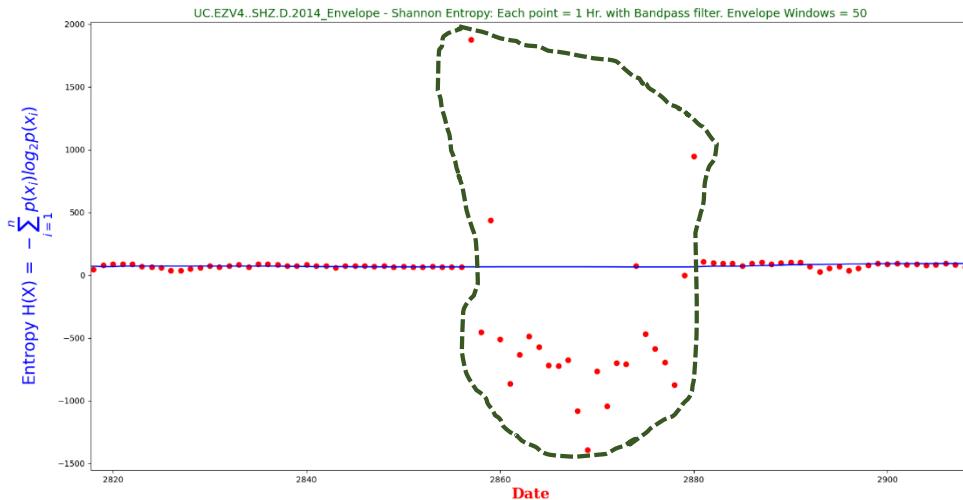


Fig. 55 Gráfica con un mayor acercamiento (ZOOM) a la Gráfica del cálculo de la Entropía de Shannon. En el área señalada mediante la línea punteada de color verde, se observan puntos con valores por encima de 500, cercanos a 2000 y puntos negativos, cercanos a (-1500).

Como se observa en la figura anterior, un mayor acercamiento puede indicar o inducir que puntos realizan un sesgo y se encuentran fuera del rango deseado. Aquí se puede intuir que los puntos se encuentran entre los valores 2850 y 2880. Esto se corrobora, al analizar el fichero de resultados CSV y comprobar los valores entre dichos puntos. Lo que se puede advertir en la siguiente imagen.

2852	119,19,66.55582406043753,0,01848772890567709
2853	119,20,70.0835329457125,0,01946764804015868
2854	119,21,63.967564613123585,0,017768767948089886
2855	119,22,65.72862584928532,0,01825795162480148
2856	119,23,65.14403081737916,0,018095564115938656
2857	120,0,1874.6619477449162,0,520739429921433
2858	120,1,-453.1711860462806,-0,12588088501285571
2859	120,2,436.02623419831644,0,12111839838842123
2860	120,3,-510.2217419413476,-0,14172826165037433
2861	120,4,-865.1776950144628,-0,24032713750401744
2862	120,5,-634.8714717371098,-0,1763531865936416
2863	120,6,-488.01743623985396,-0,135560398955515
2864	120,7,-573.9585015514801,-0,15943291709763338
2865	120,8,-717.9318725269432,-0,1994255201463731
2866	120,9,-721.302278248241,-0,20036174395784473
2867	120,10,-676.8245641498941,-0,18800682337497057
2868	120,11,-1080.9267640832772,-0,300257434467577
2869	120,12,-1393.575078364087,-0,3871041884344686
2870	120,13,-764.8447614939193,-0,21245687819275538
2871	120,14,-1042.4261250681618,-0,28956281251893384
2872	120,15,-701.5312665896545,-0,19486979627490403
2873	120,16,-708.2074213990579,-0,19672428372196055
2874	120,17,74.39185906898203,0,020664405296939452
2875	120,18,-466.6136646062391,-0,12961490683506643
2876	120,19,-584.9367989026749,-0,16248244413963192
2877	120,20,-693.2978096527612,-0,19258272490354478
2878	120,21,-873.3475226641319,-0,24259653407336998
2879	120,22,-1.1961170936268104,-0,0003322547482296956
2880	120,23,-946.0782130488107,-0,26279950362466964
2881	121,0,106.61222730756795,0,029614507585435542
2882	121,1,100.00054379802862,0,027777928832785726
2883	121,2,91.31743402070649,0,02536595389464069

Fig. 56 Imagen del segmento de la tabla en Excel, que muestra el intervalo del sesgo en los puntos con valores altos y negativos. Intervalos entre (1874 | -1393).

Como se puede observar en la imagen, el sesgo de los puntos con valores altos y negativos se encuentra entre los valores 2857 y 2880. Que corresponden al día 120 en día Juliano (*año 2014 no bisiesto*), es decir, al día 30 de abril. Probablemente, ese día ocurrió algún fallo o avería en el sensor y se produjo una lectura errónea que produce que en el cálculo de la entropía se produzcan valores muy altos o negativos. Para resolver este problema puede optarse por dos soluciones.

- a) La primera opción, es dejar todo igual y realizar un acercamiento o ZOOM al área fuera del sesgo, es decir, el espacio comprendido entre los valores menores a 200 y cero. Lo que resultaría la gráfica siguiente.

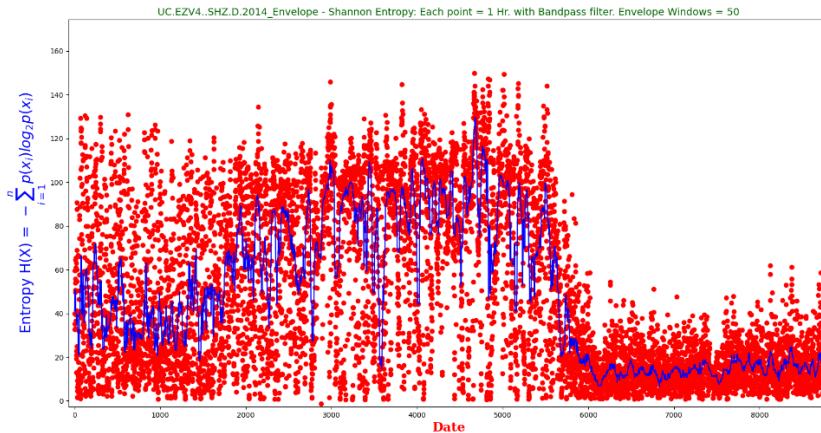


Fig. 57 Imagen de la gráfica de la Entropía de Shannon con su envolvente, mostrando los puntos marcados entre los valores menores a 200 y cero.

Como se observa en la imagen anterior, la gráfica de la entropía de Shannon y su envolvente, se encuentra delimitada entre valores promedios de 200 a cero. El período eruptivo (*decaimiento de la entropía de Shannon*) se determina entre los valores 5775 en adelante, es decir, a partir del día juliano 241 (año no bisiesto) de acuerdo a la tabla de Excel, que corresponde al 29 de agosto. **Sin embargo, los valores tanto superiores como negativos siguen existiendo en las gráficas.** Al realizar un acercamiento (ZOOM) en el área delimitada por los valores 2857 y 2880 que se mostraron en la tabla de Excel, se presenta la siguiente imagen.

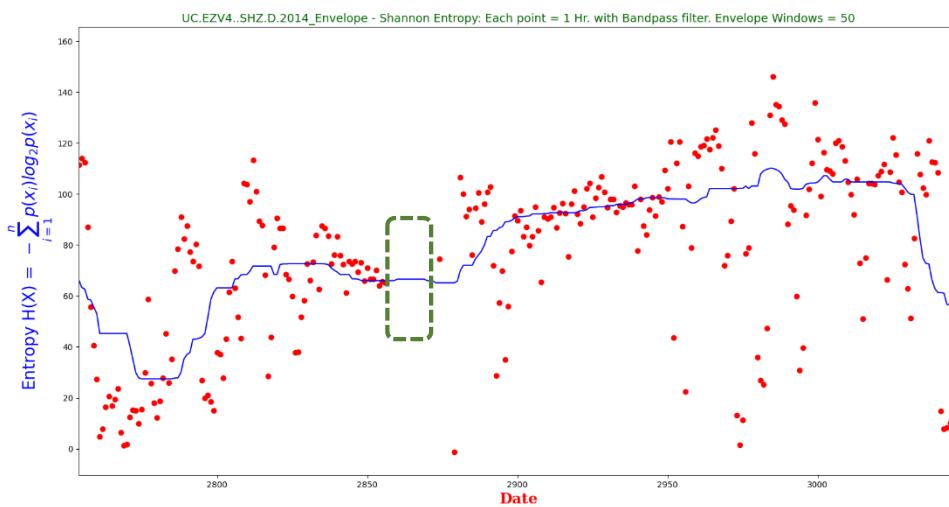


Fig. 58 Gráfica con un mayor acercamiento (ZOOM) a la Gráfica del cálculo de la Entropía de Shannon con sesgo. En el área señalada mediante el cuadro punteado de color verde, se observan que no existen puntos asociados, la línea de la envolvente sigue una línea recta. Pues los puntos se encuentran ya sea con valores elevados o negativos.

- b) La segunda opción, radica en eliminar de la base de datos (*es decir, de la carpeta donde se encuentran los datos*), el día con sesgo que corresponde al día 120 y repetir el proceso de cálculo, lo que daría ya unas gráficas sin sesgos, es decir, con valores alto y valores negativos. Los valores tanto superiores como negativos, son eliminados de las gráficas reemplazándose por ceros. La gráfica resultante es la siguiente.

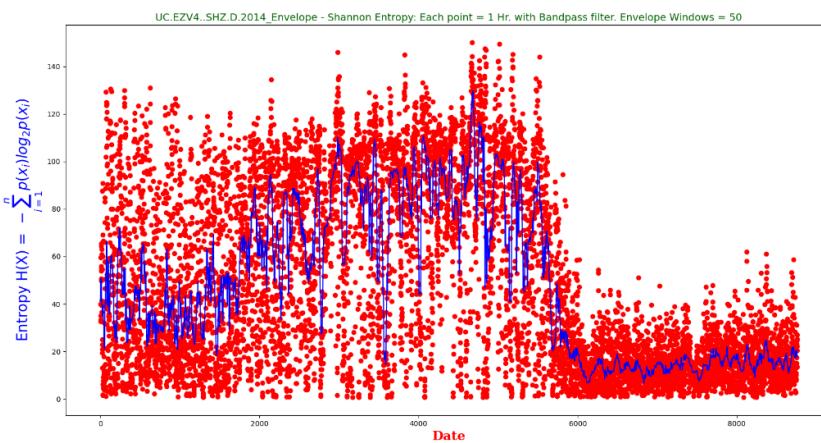


Fig. 59 Imagen de la gráfica de la Entropía de Shannon con su envolvente, al haber eliminado el día 120 que introducía el sesgo (2857-2880) con valores altos y negativos. Un año de registros, en el que un día no se advierte en la gráfica final.

Al observar las gráficas de resultados de la figura 59 (*entropía con su envolvente, al igual que las tres gráficas restantes*), puede constatarse más uniforme, al eliminar el día que introduce el sesgo. Al excluir el día, los valores no existentes son reemplazados por ceros, lo que produce una línea continua en la envolvente con un área en blanco (*rellena de valores a cero*). Solo al realizar un acercamiento al área de sesgo, se observa el resultado el proceso de eliminación del día que introdujo el sesgo (*Cfr. Fig. 60*). Al tratarse de todo un año de registros, este intervalo de ceros, es irrelevante en el análisis y conclusiones del resultado final. El usuario también, puede optar por recortar y unir ese fragmento a posteriori en la gráfica general.

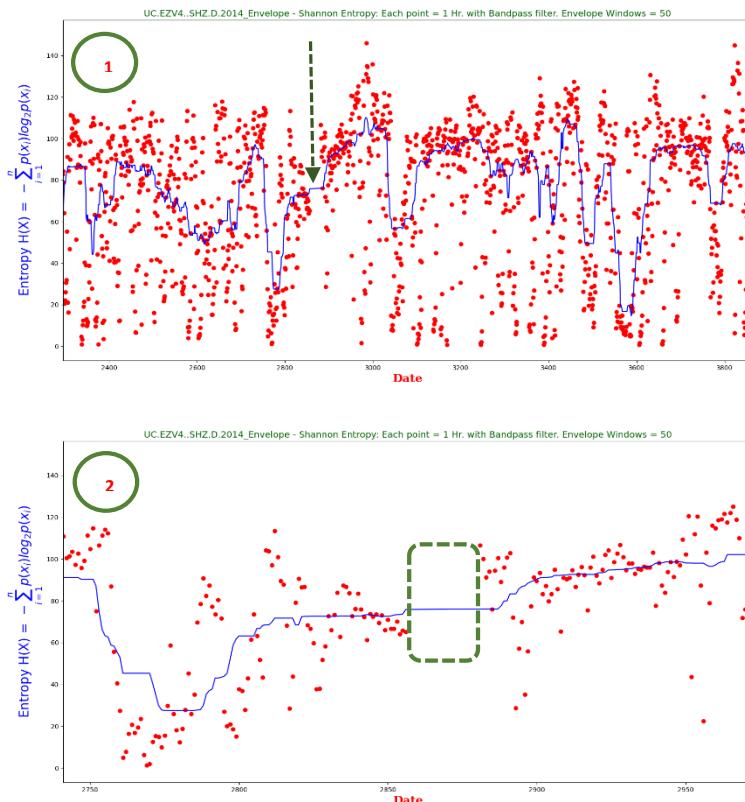
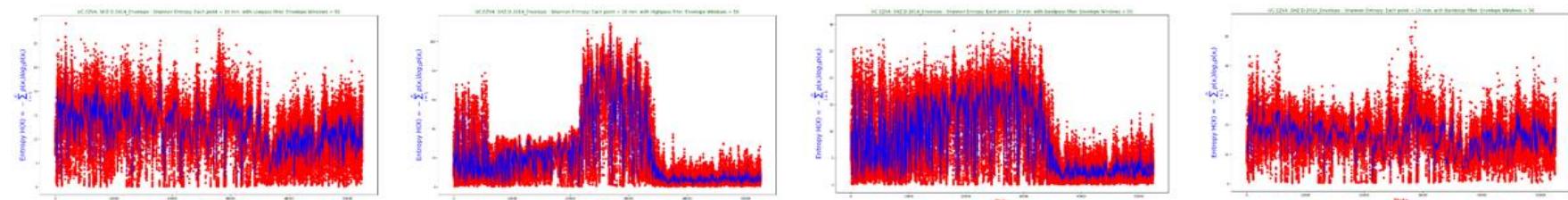


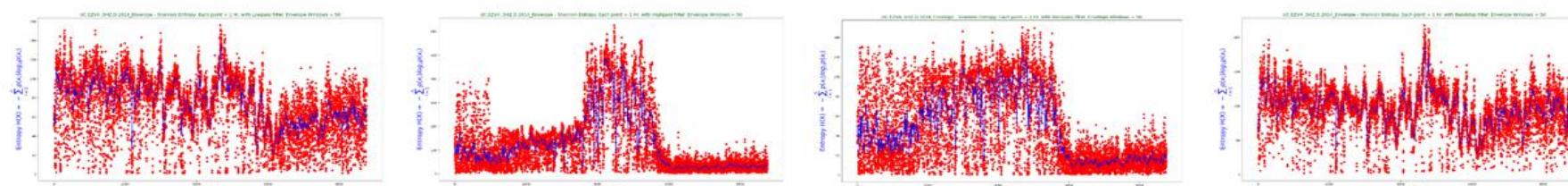
Fig. 60 Imagen de la gráfica de la Entropía de Shannon con su envolvente, al haber eliminado el día 120 que introducía el sesgo (2857-2880) con valores altos y negativos. En la parte superior (1), la línea punteada en verde indica el intervalo eliminado del día 120 (2857-2880). Un acercamiento mayor se observa en la parte inferior (2), en el recuadro punteado en verde. Se observa el área del sesgo (2857-2880), que presenta una línea horizontal de la envolvente (al ser los valores = 0) y un espacio en blanco de puntos. Los valores altos y negativos desaparecen de la gráfica. Los picos son determinados en su mayoría por enjambres sísmicos.

Comparación de la Entropía de Shannon y su envolvente, utilizando ventanas (10m., 1hr., 24hrs) de análisis con los cuatro filtros disponibles.

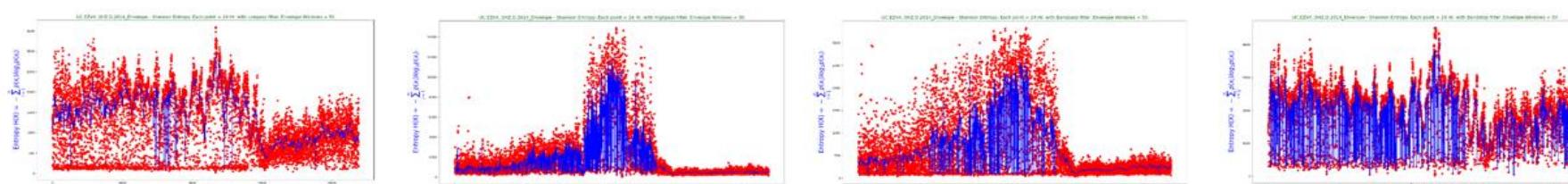
### A) Analysis Window = 10 min.



### B) Analysis Window = 1 Hr.



### C) Analysis Window = 24 Hr.



**1) Lowpass Filter = 2 Hz.**

**2) Highpass Filter = 8 Hz.**

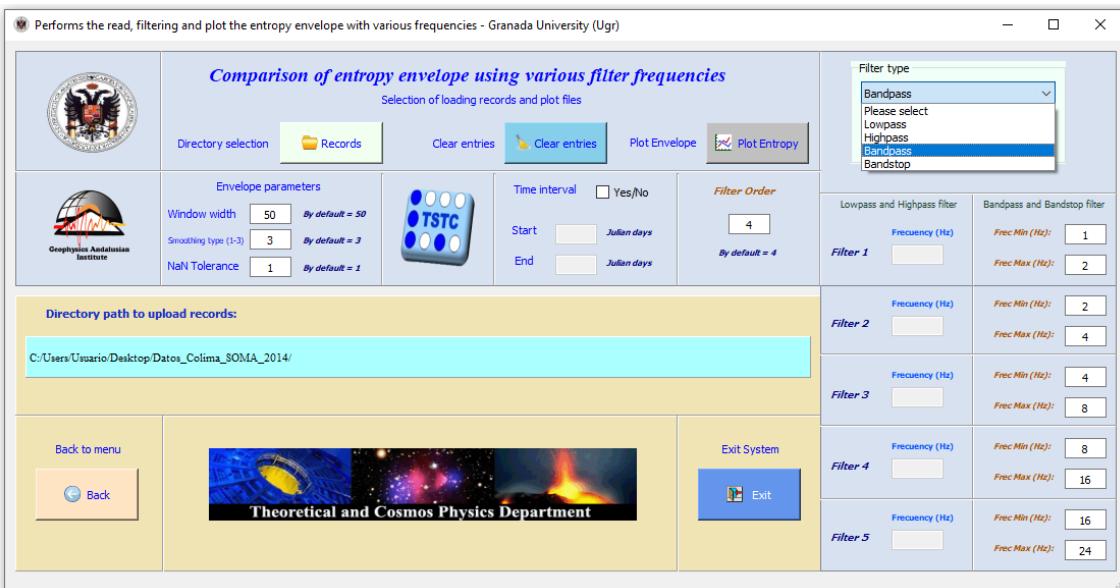
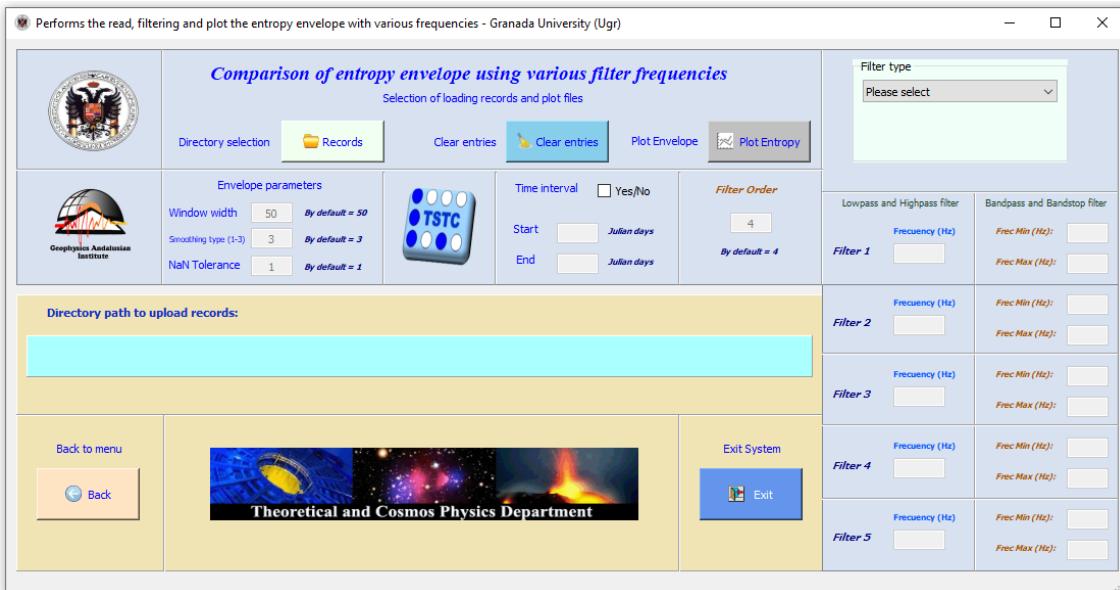
**3) Bandpass Filter = 1-15 Hz.**

**4) Bandstop Filter = 1-15 Hz.**

Fig. 61 Comparación del uso de diversas ventanas de análisis (10 minutos, una hora, 24 horas), con los cuatro tipos de filtro (Lowpass, Highpass, Bandpass y Bandstop)

## MODULO III

### COMPARACIÓN DE ENVOLVENTES DE LA ENTROPÍA DE SHANNON, UTILIZANDO VARIAS FRECUENCIAS DE FILTROS



## 5.- Comparación de envolventes de la Entropía de Shannon, utilizando varias frecuencias de filtros.

El módulo de comparación, cálculo y gráfica de envolventes de la Entropía de Shannon, utilizando diversas frecuencias de filtros ([EnvelopeFilter.py](#)), permite la lectura, filtrado, cálculo y gráficas de diversas líneas de envolventes de la entropía. “[Comparison of Entropy envelope using various filter frequencies](#)”. El objetivo de este segundo módulo es realizar una lectura de registros contenidos en una carpeta de hasta un año de duración, incluyendo la posibilidad de seleccionar intervalos de tiempo y mediante el uso de filtros, poder realizar el cálculo de la entropía con diversas frecuencias de filtros ([Lowpass](#), [Highpass](#), [Bandpass](#) y [Bandstop](#)), en donde cada punto representa el valor de la ventana calculado. Es decir, por defecto se visualizan puntos por cada hora. El objetivo de estas gráficas es realizar la comparación de la envolvente a diversas frecuencias, para observar la caída de la entropía y poder seleccionar, tanto el filtro como la frecuencia más adecuada en los posteriores análisis.

La interfaz de este módulo con sus elementos principales se observa en la siguiente imagen:

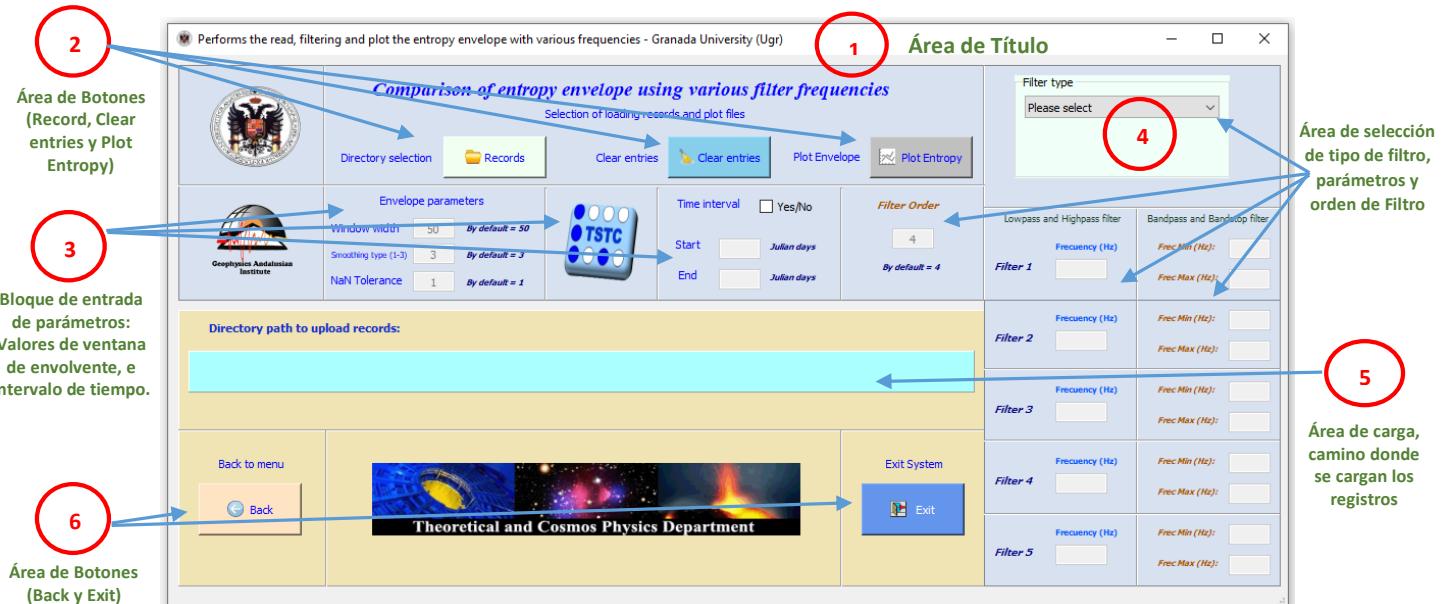


Fig. 62 Interfaz del módulo de comparación, cálculo y gráfica de envolventes de la Entropía de Shannon, utilizando diversas frecuencias de filtros y elementos que la componen.

Como se observa en la figura anterior, los elementos que componen esta interfaz son los siguientes:

- 1) Área de Título
- 2) Área de botones: Record, Clear entries y Plot Entropy
- 3) Bloque de entrada de parámetros: Valores de ventana de la Envoltorio e intervalo de tiempo.
- 4) Área de selección de tipo de filtro, parámetros y orden de filtro.
- 5) Área de carga o camino (Path), donde se encuentran los registros
- 6) Área de botones: Back y Exit.

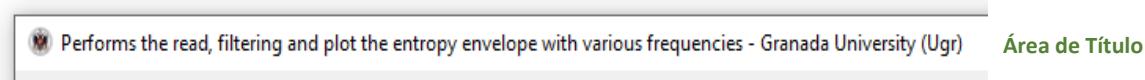
### 5.1.- Elementos del Módulo de Comparación de envolventes de la Entropía de Shannon, utilizando varias frecuencias de filtros.

Los elementos que integran la pantalla principal se detallan a continuación.

## 5.1.1.- Área de Título.

1

Se indica en la parte superior de la pantalla de la interfaz del módulo. En ella se observa; Nombre del programa, icono y nombre de la Universidad como título (1).



Además del área de título, número (1), se observan los diversos elementos de la interfaz, que se enumeran del (2-6) en los círculos rojos. Se describirá a continuación, cada uno de estos elementos y son los siguientes:



Fig. 63 Área de Botones de comando: (a) Record, (b) Clear entries y (c) Plot Envelope

En la figura anterior, la función de los botones de comando que se observan es:

- Botón “**Records**” (*Cargar registros*): carga el camino físico “**path**”, de la carpeta donde se encuentran los registros a trabajar. Cuando se coloca el puntero del ratón sobre él, presenta el texto de la acción a realizar “*Load Records*”.



Al dar clic al botón, se presenta una ventana de diálogo de Windows, que permite al usuario seleccionar la carpeta en donde se encuentran los registros con los que se quiere trabajar. La ventana de diálogo es similar a la siguiente.

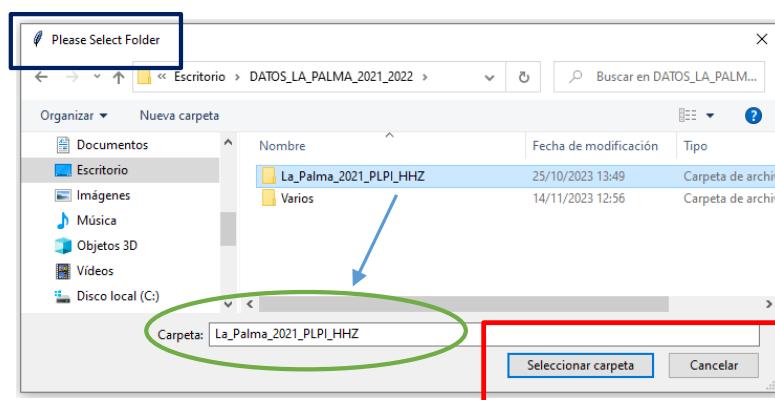


Fig. 64 Ventana de diálogo para seleccionar la carpeta donde se encuentran los registros a trabajar.

Como se observa en la imagen anterior, en la parte superior (*cuadro azul*) se indica al usuario que seleccione la carpeta a trabajar “*Please Select Folder*”. En la parte inferior, (*cuadro rojo*) se observan los dos botones de acción y una vez seleccionada la carpeta se podrán utilizar (“*Seleccionar carpeta*” y “*Cancelar*”).

Al dar clic a “**Seleccionar carpeta**”, el nombre de la carpeta elegida, que se observa con la flecha en color azul, se presenta en el área de “**Carpeta**” (*elipse de color verde*), la dirección o camino “**Path**” se presenta en la sección de carga (Cfr. Sección 5.1.5). En caso de no designar dicha carpeta, se da clic al botón de “**Cancelar**” y la acción continúa en la interfaz principal para elegir una nueva carpeta.

- b) Botón “**Clean entries** (Limpiar entradas)”: Limpia o borra los elementos de entrada, además de cerrar los gráficos existentes y dejar la pantalla de análisis como al inicio, preparada para una nueva búsqueda y un nuevo cálculo de la Entropía de Shannon con los eventos sísmicos. (*Se observan el texto que presenta el botón al poner el cursor sobre él*).



Se introduce una validación en la ejecución de este botón y para prevenir cualquier borrado accidental que el usuario realizara con los parámetros de entrada. Al dar clic en dicho botón, se presenta una ventana de dialogo, que pregunta al usuario si realmente desea borrar las entradas que ha realizado. Dicha ventana es la siguiente.

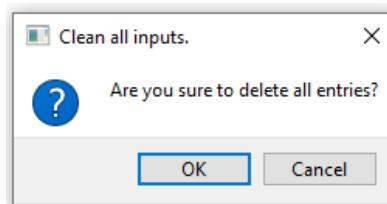


Fig. 65 Ventana de dialogo de verificación del borrado de entradas por parte del usuario.

Como se observa en la figura, en caso de que se desee realmente borrar las entradas, se da clic al botón de “**OK**”, con lo que todas las entradas se eliminarán y la pantalla de la interfaz del módulo presentará los valores iniciales (*con las casillas desactivadas*). En caso contrario, si por algún error o descuido se había pulsado el botón de limpieza y el usuario no desea esto, se da clic al botón de “**Cancel**” y la ejecución retornará nuevamente a la pantalla de la interfaz.

- c) Botón “**Plot Entropy**” (Graficar Entropía): al dar clic a este botón, se procede a realizar el cálculo y obtener los dos resultados gráficos de la comparación de las envolventes de la Entropía de Shannon (en líneas y puntos).



**NOTA:** Previamente, deben de introducirse las entradas de datos necesarias (Cfr. Sección 5.3): El “**Path**”, tanto del directorio de los registros, el tipo de filtro con sus parámetros de entrada (*tamaño de ventana de análisis y envolvente*) y si se va a realizar un intervalo. Al dar clic al botón, si existe algún error de entrada, se visualiza una ventana de diálogo que lo indica. (Cfr. Sección 5.2 Mensajes de validación), se procede entonces a realizar el cálculo de la Entropía de Shannon, presentar los dos resultados gráficos, con la comparación de las envolventes en líneas y puntos.

### 5.1.3.- Bloque de entrada de parámetros: Valores de la Ventana de la Envoltura (Tamaño, Suavizado y Tolerancia a Nulos), e Intervalo de tiempo.

3



Fig. 66 Bloque de entrada de parámetros: (a) Parámetros de la Envoltura (Tamaño de la ventana de análisis, Suavizado y Tolerancia a vacíos NaN), (b) Intervalo de tiempo.

En la figura anterior, marcadas con círculos verdes, se observan las dos secciones que comprenden esta área que son:

- a) Selección de los parámetros de la envolvente:



En este recuadro se introduce los valores de parámetros de la envolvente, indicados en tres entradas que son:

- i) Tamaño de la ventana (*por defecto se encuentra determinado en 50*),
- ii) Tipo de suavizado (*por defecto se encuentra en 3*),
- iii) Tolerancia a valores nulos NaN (*por defecto se encuentra en 1*).

**NOTA:** El usuario, al seleccionar la carpeta de datos a trabajar, se incluye el número de datos, incluso cuando el número de registros sea menor a 365. Esto solo indica el número máximo de datos con el que se va a trabajar. En caso que se desee trabajar con un número menor, por ejemplo, un mes. La opción más fácil y viable es utilizar el intervalo de tiempo y ahí indicarlo en el apartado siguiente (b), o dejando este valor por defecto para representar el tamaño máximo a analizar.

- b) Selección del intervalo de tiempo.

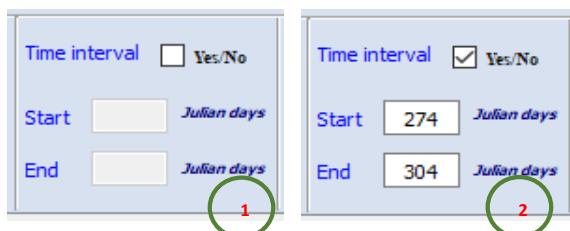


Fig. 67 Indicar por parte del usuario si se va a utilizar un intervalo de tiempo para analizar los datos: (1) Posición inicial, valor vacío en la casilla "Yes/NO", lo que indica un valor "NO" (2) Marcada la casilla "Yes/NO", lo que indica un valor "YES", con lo que se activan al seleccionar el filtro las casillas de texto "Start" y "End", para introducir las fechas en días julianos (274 a 304), que corresponde a analizar el mes de Octubre en un año no bisiesto.

En el cuadro anterior, se observa que la parte (1) se encuentra con los valores iniciales por defecto. Es decir, no seleccionado que se desea utilizar el intervalo de tiempo y los cuadros de texto que indican las entradas de fecha en días julianos están desactivadas. En la parte (2), se ha seleccionado o marcado la casilla “*Yes/No*”, lo que indica que se desea utilizar el intervalo de tiempo. Para ello hay que seleccionar el tipo de filtro, lo que activa las casillas de texto de fechas de inicio (*Start*) y Fin (*End*), expresadas en días julianos. En el ejemplo que se muestra en la figura, se han introducidos como fechas de inicio y fin los valores (274-304) respectivamente, lo que significa que se va a analizar los registros del mes de octubre de un año no bisiesto (2015, 2017, 2019, 2021, 2023, etc.). La entrada de datos en estas casillas se encuentra validada para aceptar únicamente números enteros, posicionados en el centro del recuadro.

#### 5.1.4.- Área de selección de tipo de filtros, entrada de parámetros y orden de filtro.



Fig. 68 Área de selección de filtros: (a) Selección de tipo de filtro, (b) Parámetros de tipo de filtro, (c) Orden del filtro.

La comparación de las envolventes de la entropía, se realiza mediante la selección de cinco diferentes tipos de parámetros. Es decir, se seleccionan cinco intervalos de frecuencia de un determinado tipo de filtro. De ahí que existan cinco casillas de entradas de parámetro en la imagen. En la figura anterior, marcadas con círculos verdes, se observan las tres secciones que comprenden esta área que son:

##### a) Área de selección del tipo de filtro a utilizar.



En la imagen anterior, la parte izquierda presenta como inicialmente se indica al usuario que realice o seleccione el tipo de filtro que desea utilizar. Al dar clic a este desplegado (*ComboBox*), se presentan las opciones disponibles de filtros que son: Paso-bajo (*Lowpass*<sup>1</sup>), paso-alto (*Highpass*<sup>2</sup>), paso-banda (*Bandpass*<sup>3</sup>) y detiene-banda (*Bandstop*<sup>4</sup>)

<sup>1</sup> El filtro Paso-bajo bloquea las señales de alta frecuencia y deja pasar las de baja frecuencia (frecuencias inferiores a la frecuencia de corte).

<sup>2</sup> El filtro Paso-alto bloquea las señales de baja frecuencia y deja pasar las de alta frecuencia (frecuencias superiores a la frecuencia de corte).

<sup>3</sup> El filtro Paso-banda deja pasar el contenido espectral sólo en un entorno de la frecuencia central. Esta ventana es creada a través de un valor de frecuencia mínimo y un valor de frecuencia máximo. Elimina el ruido asociado a bajas y altas frecuencias generadas (y/o residuales).

<sup>4</sup> El filtro Detiene-banda no permite el paso de señales cuyas frecuencias se encuentran comprendidas entre las frecuencias de corte superior e inferior. Es decir, elimina frecuencias o detiene una banda de frecuencias en particular.

**NOTA:** Por defecto, el botón de comando del cálculo y presentación de resultados de la entropía de Shannon ([Plot Entropy](#)), se encuentra desactivado. Este botón se activa una vez que se ha realizado la selección del tipo de filtro por parte del usuario.

- b) Área de selección e introducción de los parámetros del filtro.



Fig. 69 Área de Selección de parámetros de filtros: (1) Parámetro de frecuencia (Hz) [Filtro paso-bajo (Lowpass) y paso-alto (Highpass)], (2) Parámetro de frecuencia mínima y frecuencia máxima (Hz) [Filtro paso-banda (Bandpass) y Detiene-banda (Bandstop)].

- 1) Parámetro de Frecuencia (Hz): Estas cinco casillas, se activan al seleccionar los tipos de filtros; Paso-bajo ([Lowpass](#)) y Paso-alto ([Highpass](#)). En esta selección, las casillas de frecuencia mínima y frecuencia máxima permanecen desactivadas. Las entradas en esta casilla están validadas para permitir números decimales.
- 2) Parámetros de Frecuencia mínima y Frecuencia Máxima (Hz): Estos cinco grupos de dos casillas de texto, se activan al seleccionar los tipos de filtro; Paso-banda ([Bandpass](#)) y Detiene-banda ([Bandstop](#)). En esta selección se desactiva las casillas de entrada de Frecuencia (Hz). Las entradas de estos cinco grupos de casillas, están validadas para permitir números decimales.

**NOTA:** En la imagen anterior, todas las casillas de introducción de datos que se observan, por defecto al inicio, se encuentran desactivadas. Asimismo, están validadas para que solo se pueda introducir en ellas únicamente números y no caracteres alfabéticos o letras. El valor de las cantidades a introducir, estarán centradas en los cuadros de texto.

- c) Parámetro de orden de filtro: Por defecto este parámetro se encuentra determinado en un valor de cuatro (4) al inicio. Esta casilla de entrada se activa al seleccionar cualquiera de los cuatro tipos de filtros disponibles. Permitiendo al usuario, poder introducir un valor diferente de orden de filtro (2, 6, 8, etc.). La entrada en esta casilla se encuentra validada para aceptar únicamente números enteros.



### 5.1.5.- Área de carga o camino (**Path**), del directorio y los registros a utilizar.

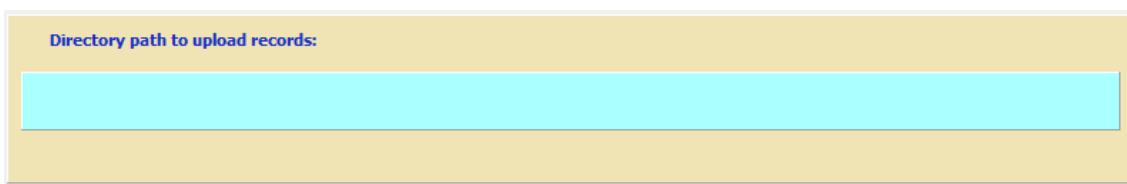


Fig. 70 Área de carga o camino (Path), del directorio y los registros a utilizar.

En la imagen anterior, se observa el área en donde se va a visualizar el camino del directorio o carpeta, en el que se realizarán las acciones del botón de comandos: “*Records*”, descrito en la sección 5.1.2.

**NOTA:** Es importante que esta área se encuentre ya previamente definida, antes de proceder a dar clic o ejecutar el botón de comando “*Plot Entropy*” (Cfr. sección 5.1.2), que realizará el cálculo, la comparación e impresión de resultados de las cinco envolventes de la Entropía de Shannon, de acuerdo a los datos que se encuentren indicados en la ruta o directorio a trabajar y los parámetros de los filtros seleccionados. En caso contrario, se presentarán ventanas de dialogo de validación de entrada de datos (Cfr. Sección 5.2).

### 5.1.6.- Área de botones de comando: (*Back* y *Exit*).

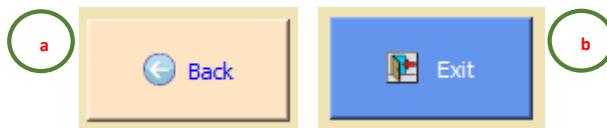
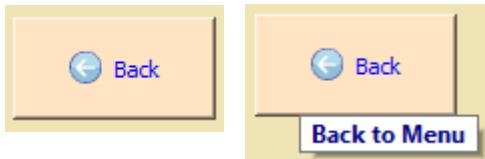


Fig. 71 Área de Botones de comando: (a) Back y (b) Exit.

- a) Botón “**Back**” (Atrás): Permite regresar a la pantalla inicial de presentación del sistema (*Menú principal*). Al colocar el puntero del ratón, exhibe un mensaje que indica su función.



- b) Botón “**Exit**” (Salida): Permite la salida completa del módulo y sistema (*Previa presentación de la pantalla que pregunta si se desea abandonar el módulo y sistema*). Al colocar el puntero del ratón, exhibe un mensaje que indica su función.



De la misma forma que en la pantalla de inicio, si se pulsa o da clic al botón de “*Exit*”, se presenta una ventana que pregunta al usuario, si está seguro de abandonar el módulo y sistema. Esta ventana es la siguiente.

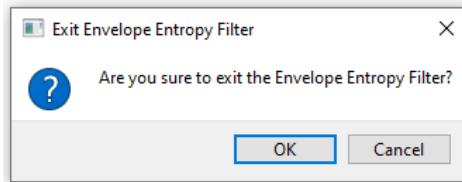


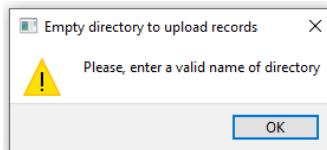
Fig. 72 Caja de texto que indica si se desea salir del módulo y sistema

Al dar clic a “OK”, se cierra la pantalla y se completa la salida del módulo y sistema. “Cancel” continúa en la pantalla principal del módulo de cálculo y comparación de las envolventes de la Entropía de Shannon.

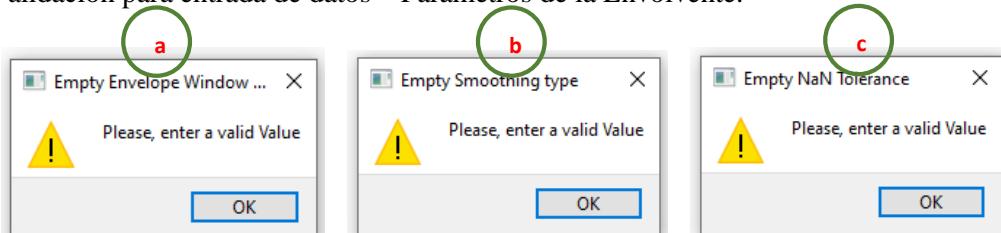
### 5.2.- Validación de errores en registro o entradas.

En caso de que se quiera calcular y graficar la comparación de las envolventes de la Entropía de Shannon, dar clic al botón de “**Plot Entropy**” (*Graficar Entropía*”), sin introducir datos en cualquiera de las casillas o cuadros de texto de entradas de parámetros de datos que se requieran, se presentará una validación, que visualiza una caja de diálogo, que indica que se ha de realizar dicha acción. Además, estas cajas de diálogo, permiten que la ejecución del programa siga su curso, sin que se produzca una interrupción severa del sistema por falta de datos. Las validaciones de entradas vacías o incorrectas son las siguientes:

- a) Validación para entrada de datos – Área de directorio (Path) de registros vacía.

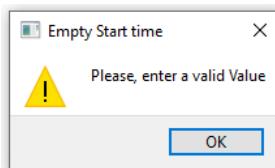


- b) Validación para entrada de datos – Parámetros de la Envoltura.

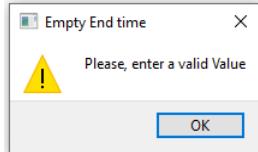


(a) Valor del Tamaño de la envolvente vacío. (b) Valor del suavizado vacío. (b) Valor de la tolerancia a NaN vacío.

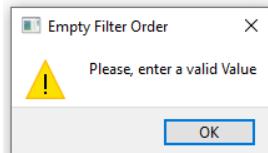
- c) Validación para entrada de datos – Intervalo de tiempo inicial vacío.



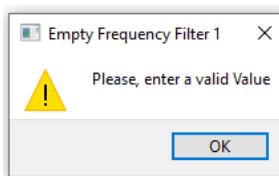
- d) Validación para entrada de datos – Intervalo de tiempo final vacío.



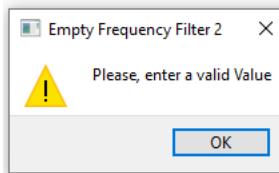
- e) Validación para entrada de datos – Valor de Orden de Filtro vacío.



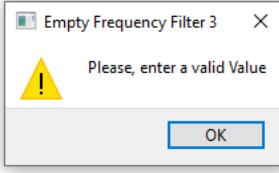
- f) Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia (*Lowpass or Highpass*) Filtro 1 vacío.



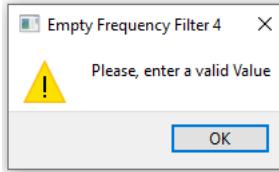
- g) Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia (*Lowpass or Highpass*) Filtro 2 vacío.



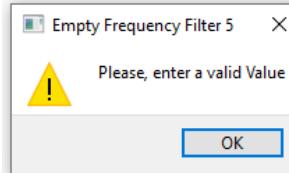
- h) Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia (*Lowpass or Highpass*) Filtro 3 vacío.



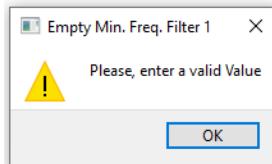
- i) Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia (*Lowpass or Highpass*) Filtro 4 vacío.



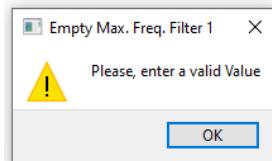
- j) Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia (*Lowpass or Highpass*) Filtro 5 vacío.



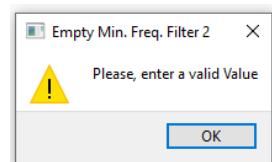
- k) Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Mínima (*Bandpass or Bandstop*)  
Filtro 1 vacío.



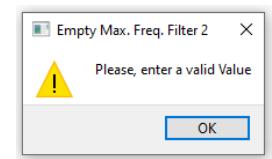
- l) Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Máxima (*Bandpass or Bandstop*)  
Filtro 1 vacío.



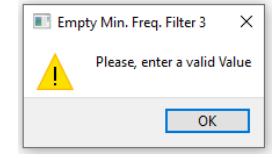
- m) Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Mínima (*Bandpass or Bandstop*)  
Filtro 2 vacío.



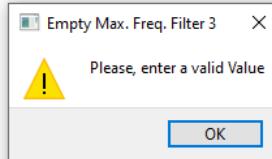
- n) Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Máxima (*Bandpass or Bandstop*)  
Filtro 2 vacío.



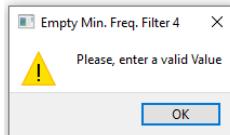
- o) Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Mínima (*Bandpass or Bandstop*)  
Filtro 3 vacío.



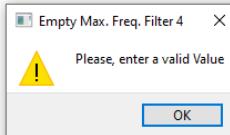
- p) Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Máxima (*Bandpass or Bandstop*)  
Filtro 3 vacío.



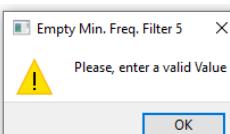
- q) Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Mínima (*Bandpass or Bandstop*) Filtro 4 vacío.



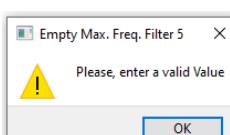
- r) Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Máxima (*Bandpass or Bandstop*) Filtro 4 vacío.



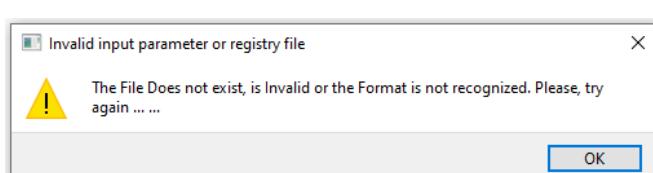
- s) Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Mínima (*Bandpass or Bandstop*) Filtro 5 vacío.



- t) Validación para entrada de datos – Valor de Frecuencia Máxima (*Bandpass or Bandstop*) Filtro 5 vacío.



- u) Validación en caso de ocurrir otro error de entrada, archivo no existente o inválido.



De acuerdo al mensaje de la figura anterior, se ha producido un error debido a: Entradas de parámetros de datos no válidos, no se reconoce el formato, es inválido o el registro no existe. Además puede que también los parámetros o entradas se encuentren fuera del rango permitido de acuerdo a la señal que se va a analizar. Al pulsar el botón de “OK” se retorna de nuevo al sistema, para elegir un archivo válido o corregir las entradas erróneas y repetir el proceso. De esta forma, continua la ejecución del programa sin presentar problemas.

### 5.3.- Proceso de ejecución y resultados del módulo de Comparación de envolventes de la Entropía de Shannon, utilizando varias frecuencias de filtros.

El proceso para realizar la carga, filtrado, gráfica de la comparación de las envolventes de acuerdo a los valores de filtros es muy sencillo, consta de los siguientes pasos (*Se recomienda seguir estos pasos*):

- a) Seleccionar el directorio donde se encuentran los registros, mediante clic al botón “**Records**”. Por defecto, la ruta inicial se encuentra en el directorio raíz “C” del PC, ya sean en el sistema Windows o Linux. Una vez seleccionado, dar clic al botón “**Abrir**”, se visualiza el registro ruta del archivo en el área: (*Directory path to upload records - Cfr. 5.1.5.*).
- b) Seleccionar el tipo de filtro (*Paso-bajo, Paso-Alto, Paso-banda o Detiene-Banda*). Esto activará las casillas de entrada de parámetros, en base a la selección indicada.
- c) Seleccionar e introducir los parámetros de la Envoltoría o dejar los valores por defecto = (50,3,1)
- d) (OPCIONAL) Seleccionar o marcar la casilla (*si así es requerido*), de analizar un determinado intervalo de tiempo. En caso positivo, indicar en las casillas: “*Start*” el tiempo en días julianos de inicio y en la casilla de “*End*” el tiempo en días julianos final.
- e) Dar las entradas de los parámetros del filtro de acuerdo al tipo seleccionado.  
Para los filtros paso-bajo y paso-alto, introducir un valor válido de “*frecuencia*”. En los cinco valores propuestos (Filtro 1 al Filtro 5). Para los filtros de Paso-banda y Detiene-banda, introducir valores válidos de “*frecuencia mínima*” y “*frecuencia máxima*” En los cinco valores propuestos (Filtro 1 al Filtro 5).
- f) Dar entrada (*si así es requerido*), al orden de filtro o dejar el valor por defecto = 4.
- g) Finalmente, dar clic al botón de “**Plot Entropy**”, para realizar el cálculo de la Entropía de Shannon, presentar las dos gráficas de la comparación de las envolventes (en líneas y en puntos).

Una vez realizado lo anterior, dar clic al botón “**Plot record**”. La salida de este proceso, estará compuesta por las dos gráficas (*1.- Comparación de las Envolventes de la Entropía de Shannon mediante trazados de líneas de acuerdo a los cinco parámetros de filtros, 2.- Comparación de las Envolventes de la Entropía de Shannon mediante trazados de puntos de acuerdo a los cinco parámetros de filtros*). Cuando se presenten las gráficas, se puede realizar un zoom (*Mediante la herramienta “Lupa (5)” - Cfr. Sección 6*), en cualquier parte de ellas para observar con mucho mayor detalle el recorrido a lo largo del tiempo de la entropía.

5.3.1.- Ejemplo de procedimiento de cálculo y comparación de envolventes de la Entropía de Shannon, utilizando varias frecuencias de filtros.

A manera de ejemplo, se presentan el siguiente proceso de la interfaz con los elementos de salida para una un análisis de la comparación de envolventes de la Entropía de Shannon, utilizando varias frecuencias de filtros.

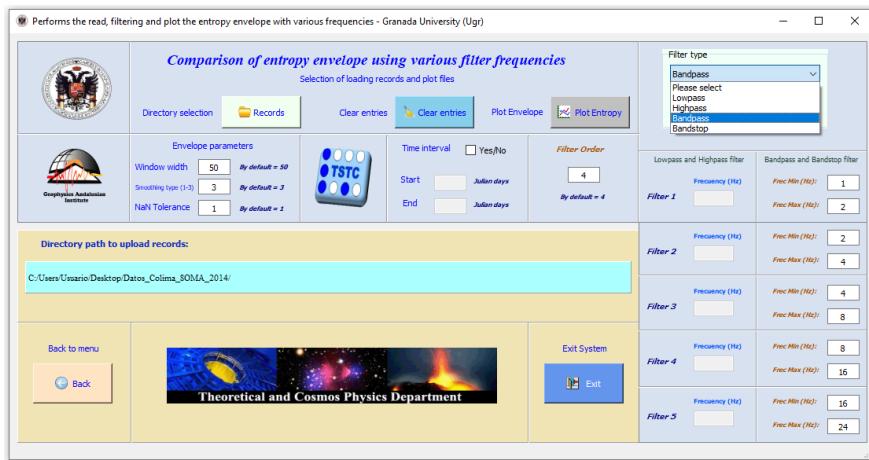


Fig. 73 Interfaz del módulo de las entradas del módulo de cálculo y comparación de envolventes de la Entropía de Shannon, utilizando varias frecuencias de filtros.

En la figura anterior, se observan los valores obtenidos al cargar los registros de un año de duración (*No se utiliza el campo de intervalo de tiempo*). Los parámetros de entrada utilizados son:

- a) Parámetros para el cálculo de la envolvente (*Tamaño ventana, Suavizado y Tolerancia Nulos (NaN)*) o dejar el *Valor por defecto* ([50,3,1](#)).
- b) Tipo de Filtro: En este caso = Paso-banda (Bandpass).
- c) Introducir los 5 grupos de parámetros de entrada para el Filtro Paso-banda (Bandpass).
  - a. Filtro 1: Frecuencia Mínima = [1](#), Frecuencia máxima = [2](#)
  - b. Filtro 2: Frecuencia Mínima = [2](#), Frecuencia máxima = [4](#)
  - c. Filtro 3: Frecuencia Mínima = [4](#), Frecuencia máxima = [8](#)
  - d. Filtro 4: Frecuencia Mínima = [8](#), Frecuencia máxima = [16](#)
  - e. Filtro 5: Frecuencia Mínima = [16](#), Frecuencia máxima = [24](#)
- d) Orden del filtro. Si se requiere, sino dejar el valor por defecto = [4](#)

Como se observa, el usuario, solamente ha tenido que designar, la carpeta donde se encuentran los datos, el tipo de filtro y sus parámetros. Los restantes valores de entrada son los que se presentan por defecto. Seguidamente, se da clic al botón “[Plot Entropy](#)”, se procede al cálculo y la presentación de resultados. Las dos gráficas de resultados (*líneas y puntos con sus acercamientos*), que se obtienen a partir de este procedimiento, son las siguientes:

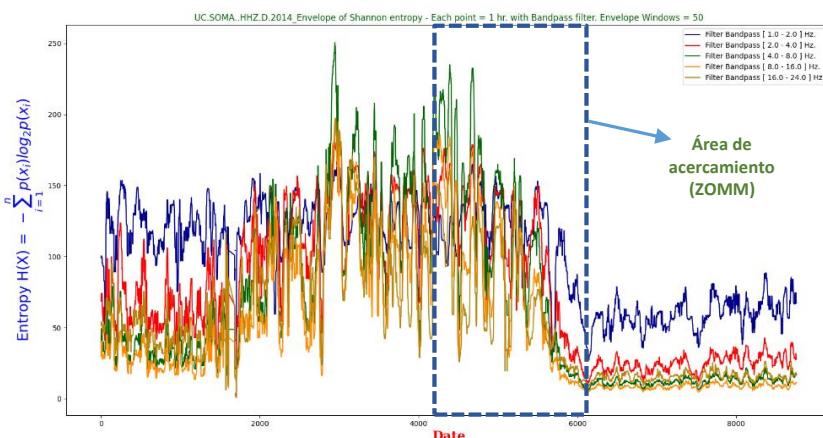


Fig. 74 Gráfica (líneas) de la comparación de las envolventes tomando los 5 grupos de valores del filtro paso-banda (Bandpass).

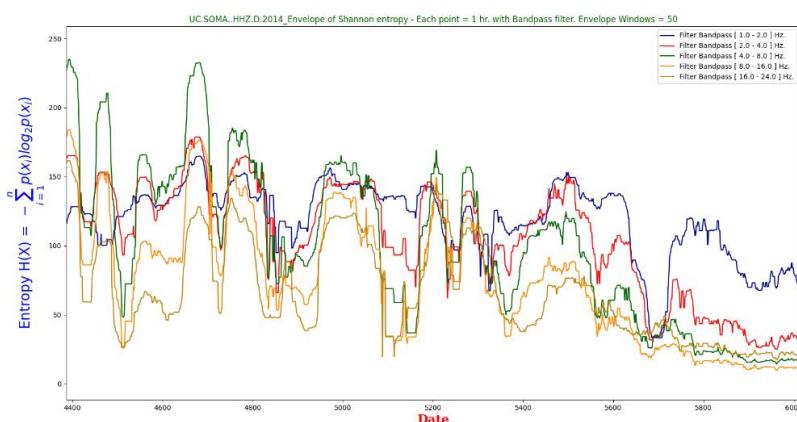


Fig. 75 Acercamiento (ZOMM intervalo de 4400-6000 en el recuadro azul punteado, figura 70), Gráfica (líneas) de la comparación de las envolventes tomando los 5 grupos de valores del filtro paso-banda (Bandpass).

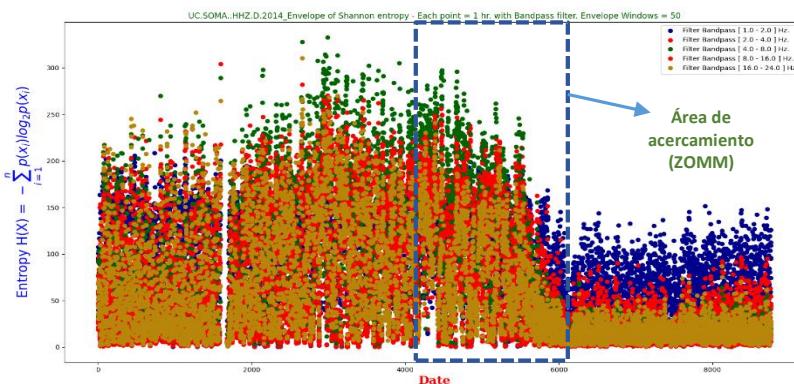


Fig. 76 Gráfica (puntos) de la comparación de las envolventes tomando los 5 grupos de valores del filtro paso-banda (Bandpass).

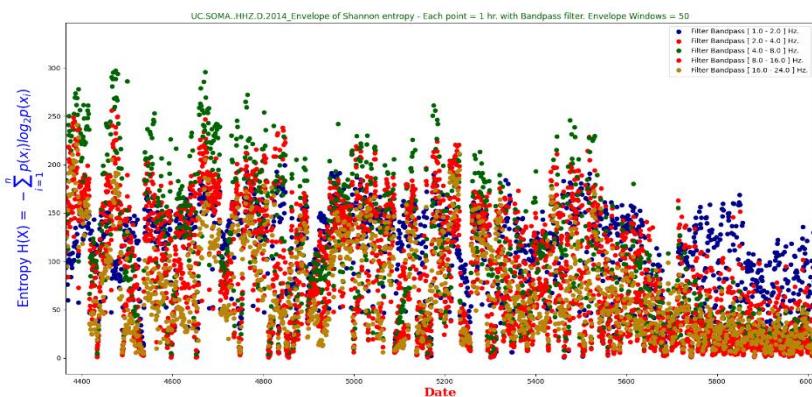


Fig. 77 Acercamiento (ZOMM intervalo de 4400-6000 en el recuadro azul punteado, figura 72), Gráfica (puntos) de la comparación de las envolventes tomando los 5 grupos de valores del filtro paso-banda (Bandpass).

5.3.2.- Ejemplo de procedimiento de cálculo y comparación de envolventes de la Entropía de Shannon, utilizando varias frecuencias de filtros, tomando como parámetros un intervalo de tiempo.

Las gráficas anteriores, corresponden a registros de un año de duración (2014). En la que cada una presenta un acercamiento a un área específica de la gráfica (recuadro punteado en azul). En las siguientes imágenes se presenta el tomar como parámetro un intervalo de tiempo.

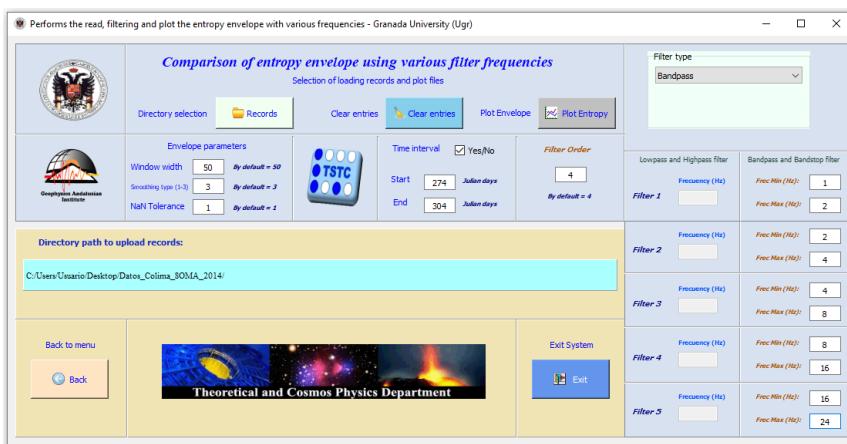


Fig. 78 Interfaz del módulo del módulo de cálculo y comparación de envolventes, con los parámetros por defecto (50,3,1) de la Entropía de Shannon, utilizando varias frecuencias de filtros y un intervalo de tiempo de 274 a 304 días julianos, lo que corresponde al mes de Octubre (Año no bisiesto).

En el ejemplo que se muestra en la interfaz del módulo de la figura anterior, se han introducidos como fechas de inicio y fin los valores (274-304) respectivamente, lo que significa que se va a analizar los registros del mes de octubre de un año no bisiesto (*2014, 2015, 2017, 2019, 2021, 2023, etc.*). La entrada de datos en estas casillas se encuentra validada para aceptar únicamente números enteros, posicionados en el centro del recuadro.

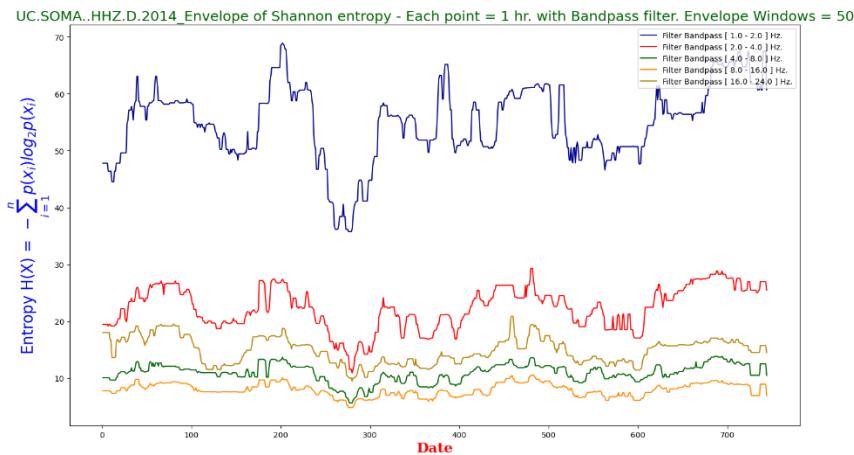


Fig. 79 Gráfica (líneas) de la comparación de las envolventes tomado los 5 grupos de valores del filtro paso-banda (Bandpass), utilizando un intervalo de tiempo (274-304) días juliano, equivalentes al mes de Octubre de 2014.

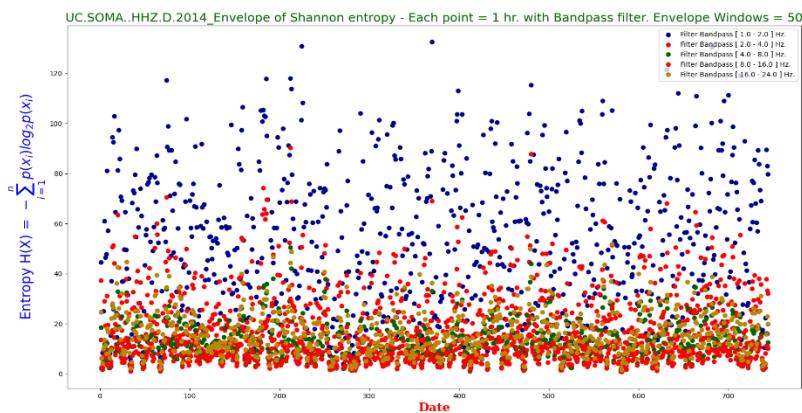


Fig. 80 Gráfica (puntos) de la comparación de las envolventes tomado los 5 grupos de valores del filtro paso-banda (Bandpass), utilizando un intervalo de tiempo (274-304) días juliano, equivalentes al mes de octubre de 2014.

Como se observa, tanto en las imágenes de la comparación de las envolventes del año completo (Figs. 74-77), como en las del intervalo de tiempo (Figs. 79-80), con un filtro paso-banda (Bandpass), las dos opciones a elegir para realizar un análisis de la Entropía de Shannon, que se acerca a cero, serían de los filtros en frecuencia (4-8 y 8-16 Hz.). Sin embargo, esto no puede ser una constante general, debido a que pueden existir variaciones, de acuerdo al volcán y al tipo de erupción que presenta.

Por ejemplo, en siguiente apartado, se presenta una comparación del análisis de las envolventes de una erupción de tipo explosivo con otra erupción de tipo efusiva, utilizando dos volcanes diferentes, situados en zonas geográficas diversas.

5.3.3.- Ejemplo de procedimiento de cálculo y comparación de envolventes de la Entropía de Shannon, utilizando varias frecuencias de filtros, tomando como referencia dos tipos de volcanes y dos tipos de erupción.

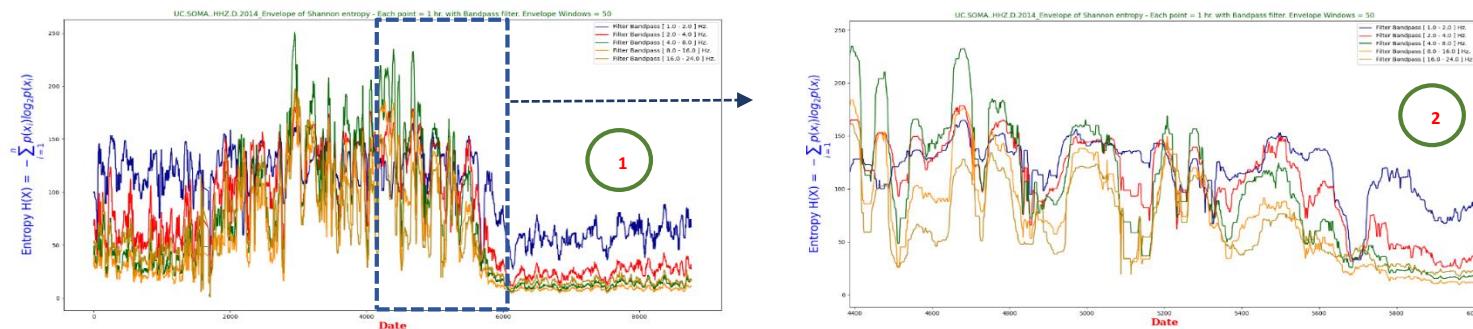


Fig. 81 Volcán y tipo de erupción explosiva. (1) Gráfica (líneas) de la comparación de las envolventes tomando los 5 grupos de valores del filtro paso-banda (Bandpass). (2) Acercamiento (ZOOM intervalo de 4400-6000 en el recuadro azul punteado), Gráfica (líneas) de la comparación de las envolventes tomando los 5 grupos de valores del filtro paso-banda (Bandpass).

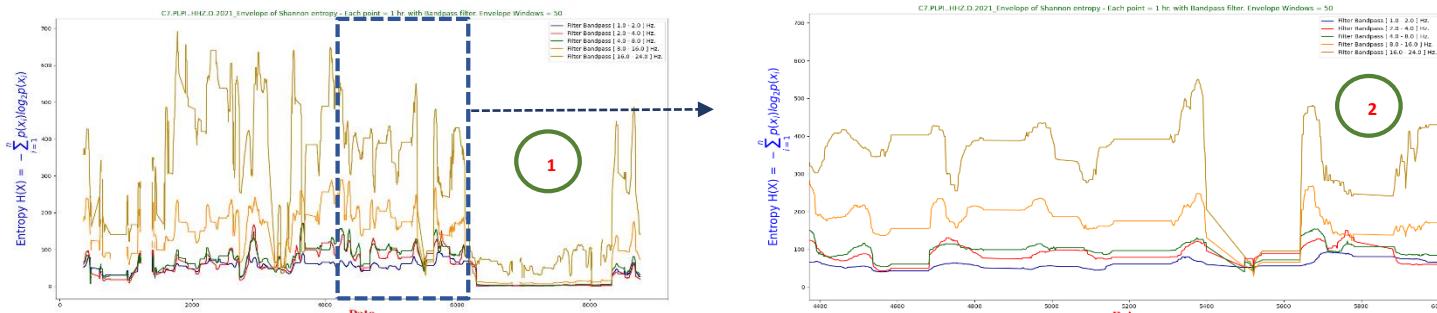


Fig. 82 Volcán y tipo de erupción efusiva. (1) Gráfica (líneas) de la comparación de las envolventes tomando los 5 grupos de valores del filtro paso-banda (Bandpass). (2) Acercamiento (ZOOM intervalo de 4400-6000 en el recuadro azul punteado), Gráfica (líneas) de la comparación de las envolventes tomando los 5 grupos de valores del filtro paso-banda (Bandpass).

Como se observa en las figuras anteriores, la gráfica superior (Fig. 81), para la erupción de tipo explosiva, las envolventes de un año indican que se presenta un mejor análisis de la Entropía de Shannon (*tendencia a cero*), en los filtros en frecuencia (4-8 y 8-16 Hz.). Sin embargo, la gráfica inferior (Fig. 82), para la erupción de tipo efusivo, las envolventes de un año indican que se presenta un mejor análisis de la Entropía de Shannon (*tendencia a cero*), en los filtros en frecuencia (1-2 y 2-4 Hz.). De la misma forma, el filtro de 16 a 24 Hz, se comporta mejor en la erupción explosiva que en la efusiva.

Se puede concluir con el resultado anterior, que para cada tipo de erupción y volcán, el usuario debe de analizar y decidir, que tipo de filtro y de frecuencias, son las más adecuadas para ese caso en particular y proceder de esta forma, con el procedimiento de cálculo de la Entropía de Shannon y su envolvente, utilizando los parámetros más adecuados. Para reforzar lo anterior, se va a observar las gráficas al tomar un intervalo de tiempo. Así, al igual que en las figuras anteriores, se analizarán los valores (274-304) respectivamente, lo que significa que se va a analizar los registros del mes de octubre de un año no bisiesto (2014, 2015, 2017, 2019, 2021, 2023, etc.). Las imágenes son las siguientes.

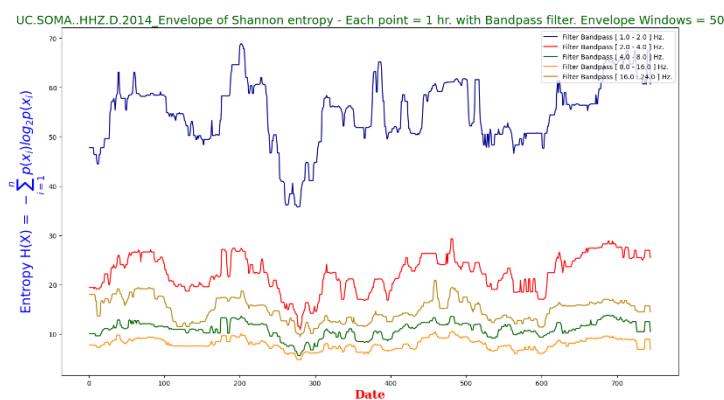


Fig. 83 Volcán y tipo de erupción explosiva. Gráfica (líneas) de la comparación de las envolventes tomando los 5 grupos de valores del filtro paso-banda (Bandpass), utilizando un intervalo de tiempo (274-304) días juliano, equivalentes al mes de Octubre de 2014.

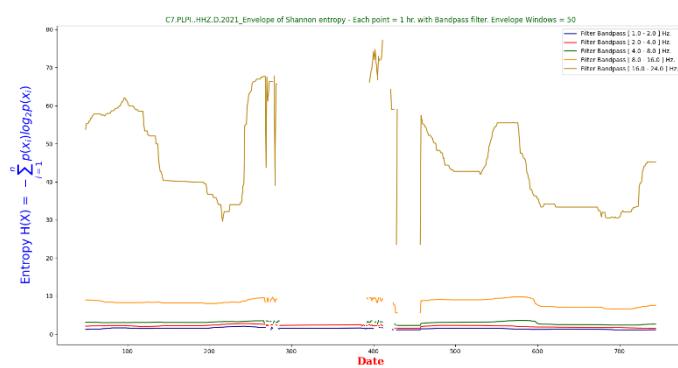
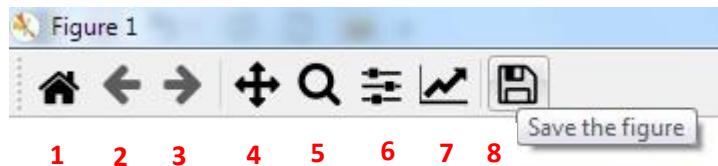


Fig. 84 Volcán y tipo de erupción efusiva. Gráfica (líneas) de la comparación de las envolventes tomando los 5 grupos de valores del filtro paso-banda (Bandpass), utilizando un intervalo de tiempo (274-304) días juliano, equivalentes al mes de Octubre de 2021.

Al igual que en las figuras 81 y 82, se observa que los filtros [*en este caso paso-banda (Bandpass)*], más adecuados en el cálculo de la Entropía de Shannon para establecer una tendencia a cero, en ambas erupciones son: (a) Para el caso de la erupción de tipo explosiva es de (4-8 y 8-16 Hz.) y para la efusiva es de (1-2 y 2-4 Hz.).

## 6.- Barra de Herramientas de las gráficas (Librería Matplotlib)

En la construcción de gráficas, la pantalla de gráficos de la librería **Matplotlib**, posee un conjunto de herramientas muy útiles, que permiten visualizar, editar y almacenar las gráficas en diversos formatos. En la parte superior de la pantalla de gráficos de Matplotlib que se presenta cuando se crea una gráfica, se observa una barra de herramientas similar a la siguiente:



De izquierda a derecha, los iconos que representan las acciones a realizar son:

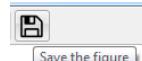
1. **Reset original view**: Restituye al inicio todas las gráficas
2. **Back to previous view**: Vista previa de la gráfica seleccionada
3. **Forward to next view**: Vista Adelante de la siguiente imagen
4. **Left button pans, Right button zooms, x/y fixes axis, CTRL fixes aspect**. Mueve la gráfica y ejes a izquierda o derecha,
5. **Zoom to rectangle**: A través de un rectángulo, realiza un zoom de la gráfica seleccionada.
6. **Configure subplots**: Configuración de los subplots (Bordes y espaciados)
7. **Edit axis, curve and image parameters**: Edición de los parámetros de la gráfica. Se selecciona el axes o gráfico y se editan elementos como: Título, coordenadas (X,Y) y parámetros de la curva (líneas, marcadores) en estilos, colores y tamaño.
8. **Save the figure**: Guarda la gráfica en diversos formatos.

El presente documento, no profundiza en cada uno de ellos, únicamente resaltará el uso de los que generalmente más se utilizan, como son: (1, 2, 5, 7 y 8).

En las gráficas anteriores, se ha podido constatar el uso de la herramienta de zoom (5). Las herramientas 2 y 3, permiten realizar o restablecer un zoom de forma individual a cada gráfica, la opción 1, faculta restaurar al valor inicial todos los elementos o subplots de la gráfica (*cada gráfica individual o parte de la ventana*). En cuanto a la opción 8, permite guardar la gráfica en diversos formatos. El resto es sumamente sencillo y queda a estudio del usuario el uso de cada uno de ellos. Ahora bien, los procesos para “**editar**” y “**almacenar o guardar**” las gráficas (*Números anteriores 7 y 8*) se detallan a continuación.

### 6.1.- Guardar las Gráficas

El proceso de guardar las gráficas es muy sencillo. Se procede a dar clic al ícono de la herramienta número 8 (*Save the figure*).



Lo que permite abrir una ventana de explorador, similar a las de Windows (*dependiendo del idioma o sistema que se utilice*), en donde se puede seleccionar la carpeta o directorio donde se almacenará la gráfica.

Además, dar nombre y tipo de formato que se desee. Esto se puede observar en la parte inferior de la ventana del explorador (*círculo rojo en la imagen*), ahí se seleccionan los diversos tipos de formatos disponibles a guardar. La pantalla es similar a la siguiente.

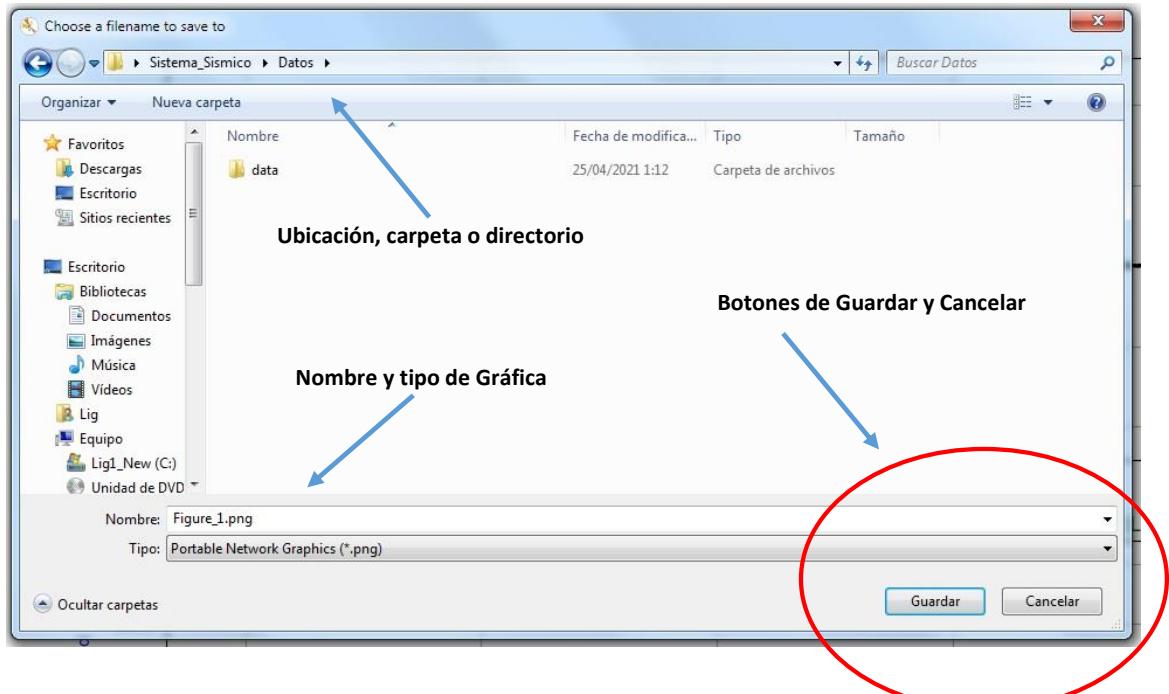


Fig. 85 Pantalla que permite guardar la gráfica, seleccionando un nombre e eligiendo diversos tipos de formatos. Botones de “guardar” y “Cancelar”, para completar o cancelar el proceso.

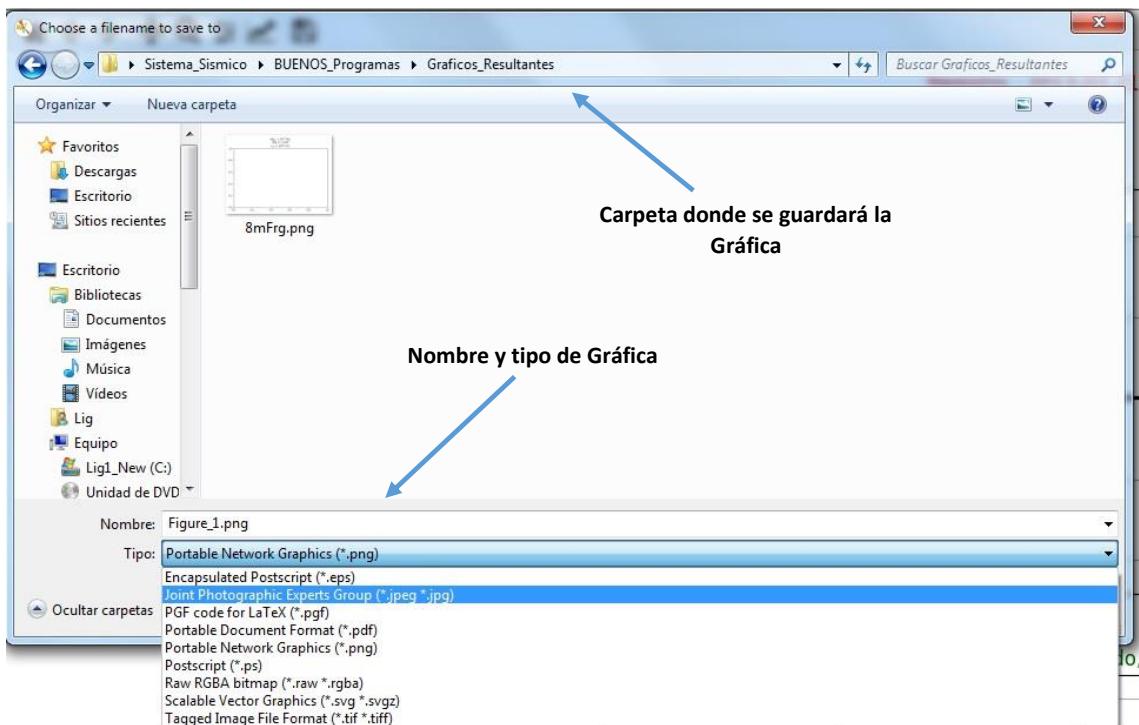


Fig. 86 Pantalla donde se observa los tipos de formatos disponibles para guardar la gráfica.

La figura anterior muestra una lista de los tipos de formatos disponibles, la siguiente imagen presenta dicha lista con más detalle:

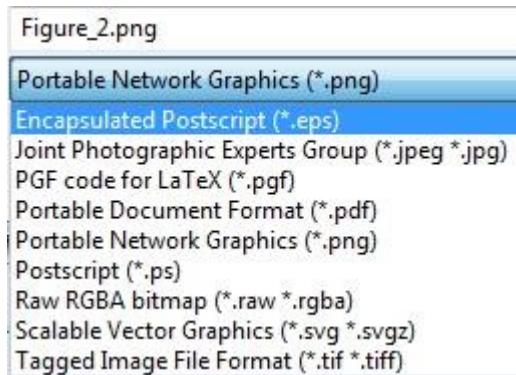
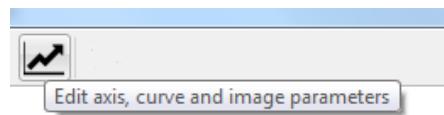


Fig. 87 Lista de los Formatos disponibles, para guardar la gráfica generada por el análisis

Una vez seleccionado, tanto el nombre como el tipo de formato que se desea y la ubicación de la carpeta o directorio en donde se almacenará la gráfica, se procede a dar clic al botón de “**Guardar**” (Cfr. Fig. 82), con lo que la gráfica se almacenará y estará disponible para el uso que se estime necesario.

## 6.2.- Edición de los ejes e imágenes de las Gráficas

A través del botón de “Edición”, punto 7 (Cfr. Pág. 66) del listado de la barra de herramientas gráficas (**Edit axis, curve and image parameters**), es posible editar o modificar los parámetros de los ejes, las imágenes y curvas de las gráficas.



Por ejemplo, para modificar los parámetros de la imagen de un espectrograma. Se da clic a dicho botón de comando. Se presenta una pantalla o caja de diálogo “**Customize (Personalizar)**”, que indica cuál de los “*axes (ejes)*”, de las áreas de la gráfica se desea editar o modificar y luego de da clic al botón de “**OK**”. Esta pantalla es similar a la siguiente.

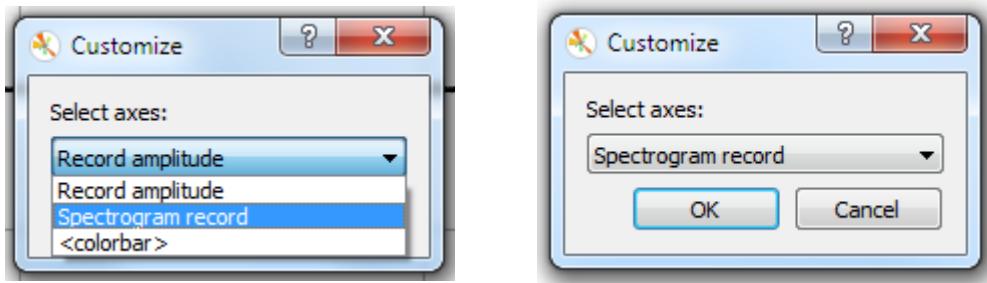


Fig. 88 Caja de diálogo de **Customize (Personalizar)**, se ha seleccionado el eje del espectrograma

Una vez que se selecciona el eje deseado y que se ha dado clic al botón “OK”, se presenta una nueva ventana con las opciones de la figura. Aquí se seleccionan los diversos valores a editar de dicho eje, en este caso del espectrograma (Axes (*ejes*) e Imágenes). La ventana de diálogo es la siguiente.

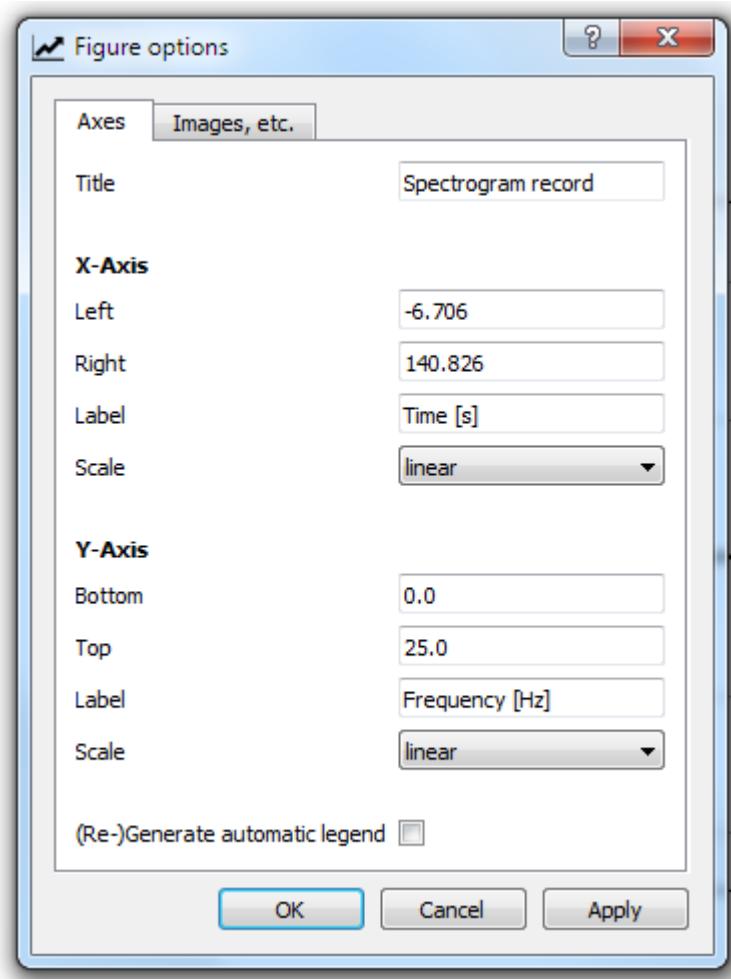


Fig. 89 Caja de diálogo de opciones de edición del título y ejes de la figura

En esta parte de “*Axes (ejes)*”, como se observa, se pueden editar o modificar los valores o parámetros del título y los ejes “X” y “Y” de la gráfica. Para nuestro ejemplo, lo que se desea modificar es la imagen, con lo que se va a seleccionar la pestaña que indica esta opción. La imagen que se presenta es la siguiente.

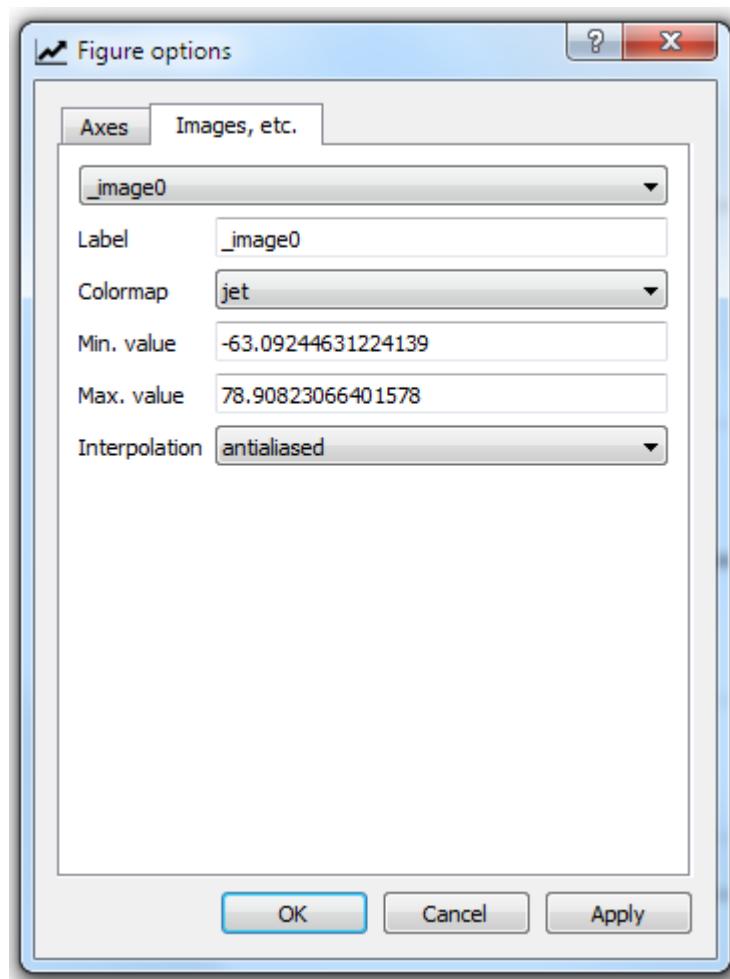


Fig. 90 Caja de diálogo de opciones de edición de los parámetros de la imagen

Como se observa en la imagen, se pueden modificar entre otros parámetros: las etiquetas, el mapa de color o “*Colormap (mapa de color)*” utilizado en el espectrograma, los valores mínimo y máximo y la interpolación. El valor de “*Colormap (mapa de color)*” por defecto se ha programado el modo “**jet**”. Los valores mínimos y máximos para este mapa de color y la interpolación que se utilizan se asignan por defecto a la imagen, pero se pueden modificar de acuerdo al interés del operador.

La lista de valores de parámetros editables, tanto del “*Colormap (mapa de color)*”, como de la “*Interpolation (Interpolación)*”, se presenta en la figura de la siguiente página.

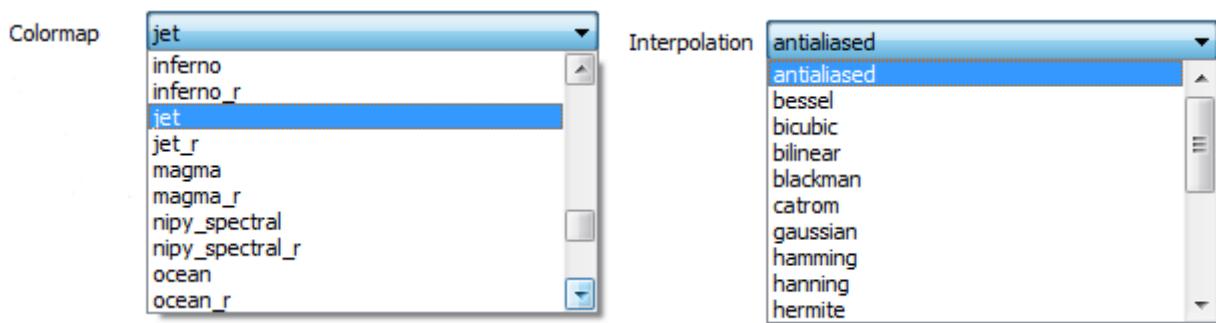


Fig. 91 Cajas de diálogo de edición de algunos de los parámetros de “*Colormap (Mapa de color)*” y de “*Interpolation (Interpolación)*”, para seleccionar en la gráfica.

**NOTA FINAL:** El sistema está diseñado para ser una herramienta de fácil uso, acceso y comprensión. Una interfaz amigable, que ofrezca una ayuda tecnológica fiable al operador humano, en el análisis de registros sísmicos tanto tectónicos como volcánicos, utilizando una o tres componentes, ayudándose de filtros digitales. La sencillez de esta primera versión, radica en que consta de módulos individuales, en el que se han incluido varios análisis de filtros y gráficos, frecuentemente utilizados en el estudio de señales sísmico-volcánicas. Así, como el cálculo y análisis de métricas como la Entropía de Shannon, el índice de frecuencia y la Kurtosis con sus respectivas envolventes. Así como establecer un análisis comparativo de las envolventes de la Entropía de Shannon, utilizando diversas frecuencias de filtros, para analizar que frecuencias son más idóneas para realizar estudios posteriores. Métricas y herramientas que son sumamente útiles para poder establecer modelos de alerta cada vez más fiables y en tiempo real, ante futuras erupciones volcánicas. En versiones o actualizaciones posteriores a la versión actual (1.1), podrán añadirse módulos extras, que contengan diversos tipos de análisis, funcionalidades o con diferentes métodos y algoritmos, que brinden una mejora del estudio y la investigación sísmica para bien de la comunidad científica.

### Agradecimientos:

Este software y su documentación, es fruto de la investigación de los siguientes proyectos españoles:

- a) PID2022-143083NB-I00, “LEARNING”, funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033
- b) JMI and LG were partially funded by the Spanish project PROOF-FOREVER (EUR2022.134044)
- c) PRD was funded by the Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España (MCIN), Agencia Estatal de Investigación (AEI), Fondo Social Europeo (FSE), and Programa Estatal de Promoción del Talento y su Empleabilidad en I+D+I Ayudas para contratos predoctorales para la formación de doctores 2020 (PRE2020-092719).
- d) Spanish Project PID2022-143083NB-100 founded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and by FEDER (EU) “Una manera de hacer Europa”.
- e) PLEC2022-009271 ““DigiVolCa””, funded by MCIN/AEI, funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and by EU «NextGenerationEU/PRTR», 10.13039/501100011033.

### FIN del documento.

*Ligdamis A. Gutiérrez E. PhD.*

Departamento de Física Teórica y del Cosmos, Facultad de Ciencias.

Instituto Andaluz de Geofísica.

Universidad de Granada (Ugr)

Granada, España – 2023



## ANEXO A

### A1.- Instalación de Python y librerías adicionales

#### A1.1. Contenido del paquete de Instalación.

La carpeta principal “**EntropySisI**”, contiene dos carpetas de acuerdo al idioma Inglés. A su vez, cada una de ellas contiene los siguientes elementos:

- a) Carpeta “**EntropySisI**”: (conjunto del sistema de análisis sísmico). Esta carpeta, debe de ser copiada en “Mis Documentos”. Contiene los siguientes elementos:
  - a. Carpeta: “**Images**” Imágenes necesarias para las interfaces de los programas.
  - b. Programa: **Menu1.py**. Programa de inicio y presentación.
  - c. Programa: **class\_canvas1.py**. Programa de apoyo a la interfaz de “**ReadSignals1.py**”.
  - d. Programa: “**ReadSignals1.py**”. Módulo (interfaz), de lectura, filtrado y gráfica de registros con una o tres componentes.
  - e. Programa: “**Entropy1.py**”. Módulo (interfaz), de cálculo, filtrado y gráfica de la Entropía de Shannon y su envolvente.
  - f. Programa: “**EnvelopeFilter.py**”. Módulo (interfaz), de comparación, cálculo y gráfica de envolventes de la Entropía de Shannon, utilizando diversas frecuencias de filtros.
- b) Carpeta “**Document**”: Se compone de los siguientes ítems:
  - a. Manual de Usuario “**User\_manual\_Entropy1\_ESI.pdf**” en PDF, redactado en español con la documentación necesaria del uso de las interfaces del sistema.
  - b. Manual de Usuario “**User\_manual\_Entropy1\_ENI.pdf**” en PDF, redactado en inglés con la documentación necesaria del uso de las interfaces del sistema.
  - c. Fichero “**Initials\_requirements.txt**”. Fichero que contiene las librerías necesarias para instalarse en Windows a través del “Pip”, una vez instalado Python.
  - d. Fichero “**README.txt**”: Fichero con las instrucciones generales y básicas del sistema y su instalación.
  - e. Fichero “**EntropySisI.bat**” (*Para uso en Windows*), fichero ejecutable de procesamiento por lotes. Debe de copiarse en el escritorio, desde ahí mediante clic derecho “ejecutar como administrador”, lo que iniciará el sistema. El fichero buscará automáticamente el programa de inicio “Menu1.py”, que se encuentra en la carpeta “**EntropySisI**”, que previamente se ha copiado en “Mis Documentos” e iniciará Python, ejecutando dicho programa.

El sistema, dispone de todos los elementos (*programas e interfaces*) en inglés, salvo el manual de usuario, que está redactado tanto en español como en inglés. Para instalar en sistemas basados en Windows, se debe proceder a realizar dos acciones principales posteriores a descargar y descomprimir los ficheros “**Rar**”.

- a) Copia de la carpeta “**EntropySisI**” a “*Mis documentos*” de Windows desde el fichero de descarga (.Rar), una vez descomprimido.
- c) Copia del fichero “**EntropySisI.bat**”, desde la carpeta “(**Document**)”, al escritorio de Windows.

Con esto, ya se asegura el correcto uso del programa. Ahora, se procederá a la instalación del lenguaje Python y las librerías adicionales de Python en Windows.

#### A1.2.- Instalación de Python en Windows

Python, es un lenguaje de programación interpretado multiplataforma (*funciona bajo diversos sistemas operativos, Windows, Linux, Mac*) y multiparadigma (*uso de dos o más paradigmas dentro de un programa, orientado a objetos, reflexivo, imperativo y funcional*).

Además, Python puede ser enriquecido por una gran cantidad de módulos, librerías, paquetes o bibliotecas de programación, que son instaladas mediante su gestor de paquetes o “**Pip**”. En Linux, el programa Python y su gestor “Pip” se instalan conjuntamente con el sistema operativo. En los sistemas Windows en cambio, en los que el Python no es un lenguaje nativo, se necesita instalar previamente dicho lenguaje, descargando la versión adecuada desde la página Web de distribución de Python, ubicada en la siguiente dirección: <https://www.python.org/downloads/>

En la Web, se debe seleccionar la versión correcta, de acuerdo al tipo de sistema operativo que se encuentra en el ordenador, incluyendo si este es de 32 o 64 bits.

Para poder ser instaladas, tanto en sistemas de 32 como en 64 bits. Hay que recordar, que la redacción de este documento y el software, han sido creados con la versión disponible en su momento, que fue “**Python 3.8.6**”, que varía y se actualiza constantemente. De hecho, a partir de esa versión, han surgido muchas más. Una versión más moderna y adaptable al software (*que se sugiere*) es: “**Python 10.10**”. El usuario necesita revisar si versiones más avanzadas, no interfieren con algunas de las librerías instaladas, como la “**Obspy**”, por ejemplo. Esto se debe a que todo lo relacionado con los sistemas Linux, está constantemente modificándose, con las actualizaciones que Python y los sistemas basados en Linux realizan. Por lo que es recomendable, visitar la página Web y descargar la versión actualizada más estable o probada de Python, que funcione adecuadamente con este software.

Una vez descargada, se procede a ejecutar como administrador (*botón derecho del ratón y “ejecutar como administrador”*), se presentará el asistente de instalación del software, que guiará los pasos necesarios en la instalación (*sólo seguir las instrucciones*). El proceso dura solo unos pocos minutos. Es “recomendable” indicar durante el proceso, cuando se pregunte, que se incluya un acceso en el “**Path**” del sistema, para que así, Python pueda acceder desde cualquier sitio de Windows. Si esto no se hace durante el proceso de instalación, se debe de realizar de forma manual, modificando las variables de entorno (*más complicado*), para incluir el camino desde donde se encuentra instalado Python. Esto no será necesario (*si se le indica al inicio*), por medio del asistente de instalación.

#### A1.3.- Instalación de librerías adicionales

El siguiente paso es comprobar que el Python y su administrador de archivos o paquetes (Pip) han sido instalados correctamente. El “Pip” (*gestor de ficheros y librerías*) es muy importante, ya que es el que permite la instalación de librerías adicionales, que Python necesita para ejecutar correctamente los programas creados. Para ello, hay que abrir la ventana de consola del Windows, o “**CMD**”. El CMD, símbolo del sistema o también conocido como “**Command prompt**”, es un intérprete de línea de comandos.

Acceder al CMD, es posible por medio del tecleado, buscando la tecla con el logo de Windows (Una ventana), situada entre la tecla “**Ctrl**” y “**Alt**” en la parte inferior izquierda



del teclado. Pulsando dicha tecla, más (+) la tecla de la letra “**R**”, abrirá una ventana del programa “**Ejecutar**”, similar a la siguiente.

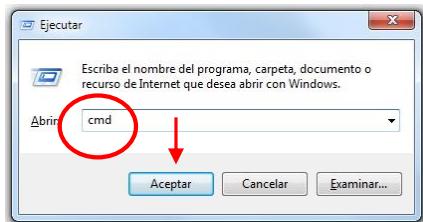


Fig. A1 Pantalla de Ejecutar en Windows. En el círculo rojo, teclear “cmd” y clic a “Aceptar”

Como se observa en la figura anterior, se teclea “cmd”, se da clic a “Aceptar”, lo que abrirá la ventana o consola de comandos de Windows.

Otra forma de realizar esto, es en la parte inferior del escritorio, en (W7) o junto (W10) al botón de “Inicio” de Windows. Se encuentra la sección de búsqueda, señalada mediante el ícono de una lupa. Esto indica, la búsqueda de programas. Similar a la siguiente.



Fig. A2 Pantalla de Búsqueda de programas en Windows.

En el cuadro donde dice “Buscar programas y archivos” (*Windows 7*) o “Escribe aquí para buscar” (*Windows 10*), se teclea igualmente “cmd”. Esta acción o la anterior, presentará la consola de comandos (CMD) de Windows, similar a la siguiente (W7).

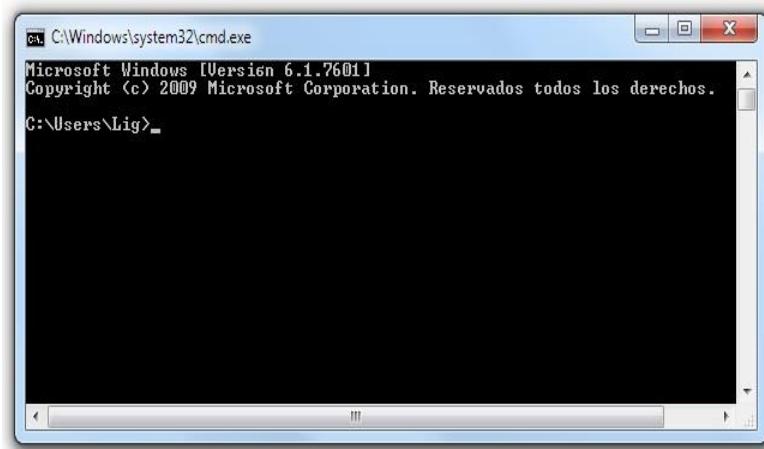


Fig. A3 Pantalla o consola de comandos “CMD” en Windows 7.

Lo mismo para las versiones: Windows 10 (W10) o Windows 11 (W11).

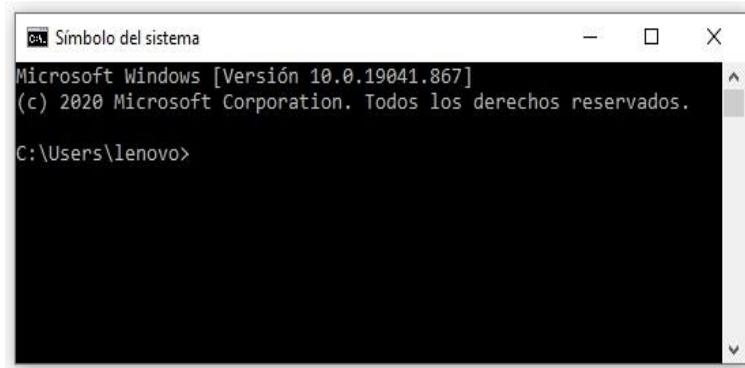
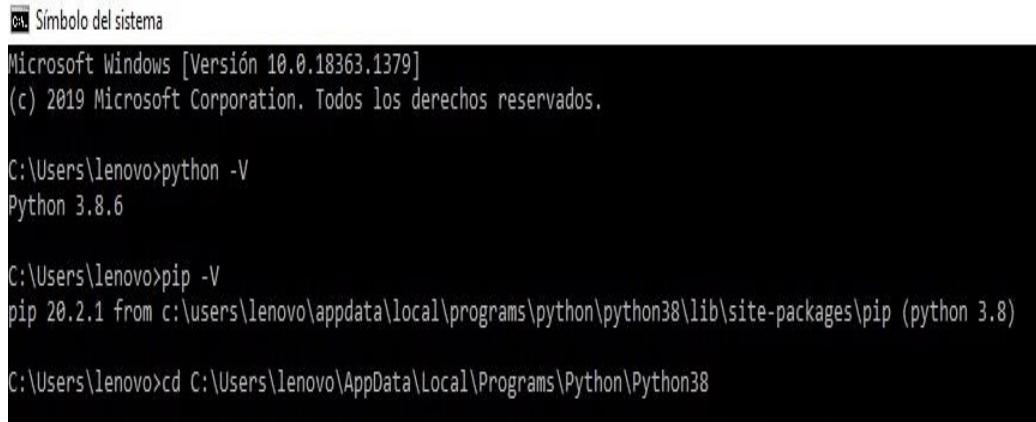


Fig. A4 Pantalla o consola de comandos “CMD” en Windows 10.

Una vez en esta pantalla, para verificar que tanto Python como su administrador de paquetes “**pip**” han sido instalados correctamente, se teclea los siguientes comandos: Python –V, y para verificar el “**pip**” se teclea: **pip –V**. Esto se observa en la siguiente figura.



```
Microsoft Windows [Versión 10.0.18363.1379]
(c) 2019 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\lenovo>python -V
Python 3.8.6

C:\Users\lenovo>pip -V
pip 20.2.1 from c:\users\lenovo\appdata\local\programs\python\python38\lib\site-packages\pip (python 3.8)

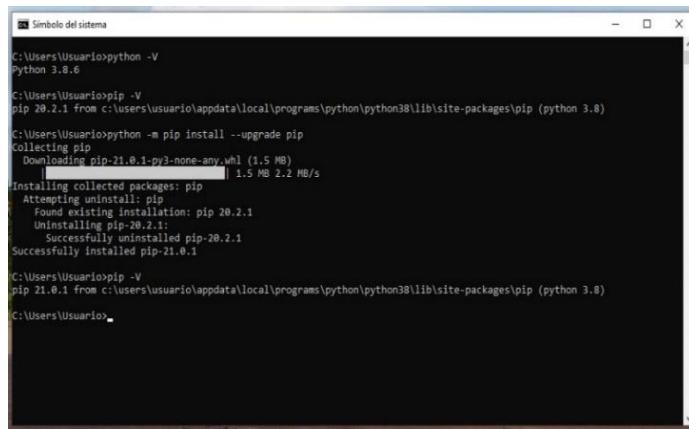
C:\Users\lenovo>cd C:\Users\lenovo\AppData\Local\Programs\Python\Python38
```

Fig. A5 Pantalla CMD, indicando las versiones de python y pip en Windows.

La salida de teclear “**–V**” en Python, indica invocar la versión que ha sido instalada. En este caso se observa que es la “[3.8.6](#)”. (*El conjunto de librerías, son compatibles con la versión 3.10.10*). Esto se ha podido realizar desde cualquier sitio del sistema, debido a que la secuencia de comandos de Python, ha sido instalada recordemos en el “**path**” o ruta que se encuentra en las variables de entorno del sistema. También después de teclear “**pip – V**”, se observa que la versión de Pip es la “[20.2.1](#)”. En este punto, se recomienda actualizar dicha versión, ya que, por defecto “Pip” se instala conjuntamente con “Python”, pero no instala la última o más actualizada versión. Para ello, en la ventana o consola CMD, se debe de teclear el siguiente comando (*Windows/Linux*): En Windows se teclea “**python**” y en Linux se teclea “**python3**”.

**Windows:** > python –m pip install –upgrade pip | **Linux:** \$ sudo python3 –m pip install –upgrade pip

Lo que indica que se actualizará el “**Pip**” a su más reciente versión (*En Linux, como “superusuario”, es decir, “sudo” al inicio*). Se visualiza en la siguiente pantalla.



```
C:\Users\Usuario>python -V
Python 3.8.6

C:\Users\Usuario>pip -V
pip 20.2.1 from c:\users\usuario\appdata\local\programs\python\python38\lib\site-packages\pip (python 3.8)

C:\Users\Usuario>python -m pip install --upgrade pip
Collecting pip
  Downloading pip-21.0.1-py3-none-any.whl (1.5 MB)
    1.5 MB 2.2 MB/s
Installing collected packages: pip
  Attempting uninstall: pip
    Found existing installation: pip 20.2.1
    Uninstalling pip-20.2.1:
      Successfully uninstalled pip-20.2.1
    Successfully installed pip-21.0.1

C:\Users\Usuario>pip -V
pip 21.0.1 from c:\users\usuario\appdata\local\programs\python\python38\lib\site-packages\pip (python 3.8)

C:\Users\Usuario>
```

Fig. A6 Pantalla de actualización y verificación de la nueva versión del pip en Windows.

Como se puede observar, al teclear de nuevo (**pip – V**), una vez actualizada “**Pip**”, la versión en la 21.0.1. Con esto ya se tiene instalado y actualizado Python y el **Pip**. El **Pip** como se ha mencionado, es muy importante, porque con este administrador, se proceden a instalar todas las librerías y paquetes necesarios, para que las aplicaciones creadas en Python puedan ser ejecutadas correctamente y sin errores. Para utilizar el sistema, se debe de proceder mediante “**Pip**” a la instalación de paquetes o librerías necesarios.

A continuación, se procederá a la explicación de cómo de forma sencilla y completamente automática se instalarán en el sistema, las librerías más comúnmente utilizadas y generales que Python necesita. Librerías como, por ejemplo “**obspy**”, que es la librería o software en código abierto, basado en **Python** para el procesamiento de datos sismológicos. También, “**matplotlib**”, que es una biblioteca para la generación de gráficos a partir de datos contenidos en listas o arrays en **Python** y su extensión matemática “**NumPy**”, entre otros, que el sistema necesita para su ejecución (Cfr. Anexo B).

#### A1.4 Instalación automática de las librerías en Windows y Linux a partir del PIP

La ventaja de tener ya instalado y actualizado el PIP en Windows, es que se puede realizar la instalación de todas las librerías que Python necesita para poder ejecutar el sistema. Adicionalmente, en la carpeta “Document (Documentos)”, en el fichero “**Readme.txt**” se encuentran las instrucciones de esta instalación. Por lo que el usuario, solo debe de seguir las instrucciones y los paquetes necesarios que serán instalados en el ordenador (PC) de forma automática por el “**Pip**” tanto en Windows como en Linux. Las librerías necesarias están en el fichero denominado “**Initial\_requirements.txt**”, incluido en la capeta “**Document**” de los ficheros descargados de la instalación y en el **Anexo B**.

En una ventana de comandos “**Cmd**” de Windows, se realizan las acciones para cada uno de los comandos indicados en el fichero, siguiendo las instrucciones. No debe de presentar problemas la instalación en sistemas Windows y Linux. Si alguna librería presenta algún error en la instalación (se muestra en color rojo en el **CMD**), debe de consultarse la documentación de dicha librería, o revisar si se está instalando la versión de Python adecuada o recomendada (**versión 3.8.6 y/o 3.10.10**). La instalación en los sistemas **Linux** (Cfr. **README.txt**) es similar y más sencilla. Se copia la carpeta principal ya sea en el escritorio, en la carpeta personal, etc. Desde esa ubicación, se abre una ventana de comandos y simplemente se teclea “**\$ python3 Menu1.py**” para iniciar el sistema.

## ANEXO B: INSTALAR LIBRERÍAS PYTHON, PARA EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.

1.- PIP: El **Pip** (*Programa de Instalación Preferida*), es el administrador de paquetes o gestión de paquetes, que se utiliza para instalar y administrar paquetes de software escritos en Python. Al Instalar Python, Pip se instala por defecto. Para ver la versión de Python o PIP, se teclea en una consola o **CMD** el comando (-V) como sigue:

```
python - V / pip - V Y para ver la lista de paquetes pip instalados: -> pip list
```

Normalmente, hay que actualizar la versión de pip, con la que se instala Python. Para esto se teclea en la ventana de comandos (CMD). En sistemas Linux y Mac, se coloca al inicio “**sudo**”, para indicar permisos de *super-usuario*.

```
Python –m pip install --upgrade pip / (LINUX) -> sudo python –m pip install --upgrade pip
```

Una vez que se descarga e instala, podemos comprobar de nuevo la versión, con el primer comando, se observará que la versión ha cambiado y actualizado. Ahora que se tiene el “pip” actualizado, se procederá a instalar los paquetes necesarios para que Python funcione correctamente con las aplicaciones.

2.- Instalación de **PyQt**: Este es un enlace de Python para la biblioteca Qt escrita en el lenguaje C++. Para la creación y uso de interfaces gráficas de usuario (GUI) en Python. Se teclea lo siguiente en la ventana de comandos (CMD).

```
pip install PyQt5 / (LINUX & Mac) -> sudo python install PyQt5
```

3.- Instalación de la librería **Matplotlib**. Es la librería que permite la creación y visualización de gráficos. Se teclea lo siguiente:

```
pip install matplotlib / (LINUX & Mac) -> sudo python install matplotlib
```

4.- Instalar la librería **Obspy**. Es la librería para el manejo de señales sísmicas. Se teclea:

```
pip install obspy / (LINUX & Mac) -> sudo python install obspy
```

5.- Instalar **Thinter**: Es una interfaz gráfica de Usuario (GUI). Se teclea lo siguiente:

```
pip install tk / (LINUX & Mac) -> sudo python install tk
```

6.- Instalar **quantecon**: Es una librería que sirve para utilizar la estimación del espectro, Periodograma, transformada de Fourier. Se teclea lo siguiente:

```
pip install --upgrade quantecon / (LINUX & Mac) -> sudo python install --upgrade quantecon
```

7.- Actualizar una librería para matplotlib. Para evitar problemas con los gráficos.

```
pip install msvc-runtime / (LINUX & Mac) -> sudo python install msvc-runtime
```

8.- Instalar **easygui** para la interfaz gráfica.

```
pip install easygui / (LINUX & Mac) -> sudo python install easygui
```

9.- Instalar **PyWavelets** para el manejo de la CWT.

```
pip install PyWavelets / (LINUX & Mac) -> sudo python install PyWavelets
```

10.- Instalar **plotly**, para el manejo y ayuda de los gráficos junto a Matplotlib.

```
pip install plotly / (LINUX & Mac) -> sudo python install plotly
```

Al final se teclea “**pip list**”, para ver las librerías instaladas. Opcional: Se puede crear un fichero llamado “**requirements.txt**”, que contendrá todas las librerías que el PC utilizará. El archivo requirements.txt, debe de estar en el directorio actual. La instrucción para realizar esto es la siguiente:

```
pip freeze > requirements.txt
```